

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

*1 відступ (інтервал 1,5)*

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

*4 відступи (інтервал 1,5)*

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

магістра

на тему: «ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ  
НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ  
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДОПІДГОТОВКИ»

*3 відступи (інтервал 1,5)*

Виконав: магістрант 2 курсу, група 8.1922-вв-дн  
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія  
освітньо-професійної програми «Водопостачання та  
водовідведення»

РУДАКОВ ОЛЕГ ОЛЕКСІЙОВИЧ

*1 відступ (інтервал 1,0)*

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і  
архітектури, канд. техн. наук \_\_\_\_\_ В.О. Савін

*1 відступ (інтервал 1,0)*

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільно-  
го будівництва, докт. техн. наук \_\_\_\_\_ В. А. Банах

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра \_\_\_\_\_ міського будівництва і архітектури  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ магістр  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 192 Будівництво та цивільна інженерія  
Освітньо-професійна програма \_\_\_\_\_ водопостачання та водовідведення

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

« 16 » \_\_\_\_\_ 20 24 року

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

\_\_\_\_\_ Рудакову Олегу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Вдосконалення системи водопостачання населеного пункту шляхом застосування енергозберігаючих технологій водопідготовки

2. Строк подання роботи: \_\_\_\_\_ 05.03.2024 \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: Генплан міста (див. долаток), мета роботи, об'єкт досліджень, предмет досліджень, очікувані методи виконання досліджень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити):

1. Енергоощадні розробки в технології очищення природної води. 1.1 Передумови розвитку енергоощадних технологій в Україні. 1.2 Застосування ресурсо- та енергозберігаючих принципів на комунальних підприємствах. 1.3 Проблеми формування політики енергоощадження водопровідних господарств. 1.4 Задачі кваліфікаційної роботи. 2. Розрахунок продуктивності очисної станції. 2.1 Формування вихідних розрахункових параметрів. 2.2 Аналіз режиму водоспоживання населеного пункту. 2.3 Створення принципової схеми системи водопостачання. 3. Розробка енергоощадної технології водопідготовки 3.1 Розробка водозабірних споруд 3.2 Вибір методу обробки води та визначення прогнозованих витрат 3.3 Розробка технології реагентної обробки води 3.4 Розрахунок обладнання для реагентного господарства 3.5 Визначення розрахункових параметрів змішувачів 3.6 Розробка споруд для відстоювання води. 3.7 Розрахунок робочих та конструкційних параметрів камер пластівцеутворення. 3.8 Розробка споруд для фільтрування води 3.9 Визначення діаметрів трубопроводів станції водопідготовки

3.10 Розробка енергоощадної технології повторного використання промивних вод 3.11 Екологічне обґрунтування. 3.12 Розрахунок споруд для дезінфекції води. 3.13 Розробка вертикальної схеми очисних споруд. 3.14 Розробка насосної станції другого підйому. 3.15 Розрахунок резервуарів чистої води. 4. Економічне обґрунтування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
 1. Генплан міста. 2. Генплан очисних споруд. 3. Висотна схема очисних споруд. 4,5. План та розріз будівлі очисних споруд. 6. Водозабірні споруди. 7. Технологія повторного використання промивних вод. 8. Насосна станція другого підйому.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      | Савін В.О., к.т.н., доцент                |                |                  |
| 2      | Савін В.О., к.т.н., доцент                |                |                  |
| 3      | Савін В.О., к.т.н., доцент                |                |                  |
| 4      | Савін В.О., к.т.н., доцент                |                |                  |
| 5      | Савін В.О., к.т.н., доцент                |                |                  |

7. Дата видачі завдання 10.10.2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                    | Виконання | Примітка |
|-------|--|-----------|----------|
| 1     | Розділ 1. Енергоощадні розробки в технології очищення природної води.  | 05.01.24  |          |
| 2     | Розділ 2 Розрахунок продуктивності очисної станції. Лист 1.            | 15.01.24  |          |
| 3     | Розділ 3. Розробка енергоощадної технології водопідготовки п. 3.1-3.8. | 31.01.24  |          |
| 4     | П.3.9-3.15. Листи 2,3.   | 05.02.24  |          |
| 5     | Листи 4,5.   | 10.02.24  |          |
| 6     | Лист 6.  | 15.02.24  |          |
| 7     | Лист 7.  | 20.02.24  |          |
| 8     | Лист 8. Насосна станція 2 підйому.                                     | 01.03.24  |          |
| 9     | Розділ 4. Економічне обґрунтування                                     | 05.03.23  |          |
| 10    | Презентація підготовка доповіді.                                       | 12.03.24  |          |

Студент

(підпис)

О.О. Рудаков  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Савін  
(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер

(підпис) (ініціали та прізвище)

І.В. Гребенюк

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра «Вдосконалення системи водопостачання населеного пункту шляхом застосування енергозберігаючих технологій водопідготовки»: 105 с., 4 рис., 15 табл., 23 джерел.

**Ключові слова:** СИСТЕМА ВОДОПОСТАЧАННЯ; ВОДОПРОВІДНА МЕРЕЖА; ОЧИСНІ СПОРУДИ; ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ; ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ; ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ.

**Метою роботи** є вдосконалення системи водопостачання населеного пункту шляхом застосування енергозберігаючих технологій водопідготовки.

**Об’єкт досліджень** – очисні споруди продуктивністю 74032 м<sup>3</sup>/добу.

**Предмет досліджень** – конструктивні та технологічні параметри очисних споруд традиційної та удосконаленої конструкції.

Розроблені елементи системи водопостачання для населеного пункту з кількістю населення – 155273 мешканців, розроблені енергозберігаючі заходи – технологія повторного використання промивних вод.

## ABSTRACT

Master's qualification work «Improvement of the settlement's water supply system through the use of energy-saving water treatment technologies»:105 p.,4 fig., 15 table, 23 sources.

Keywords: WATER SUPPLY SYSTEM; WATER NETWORK; TREATMENT PLANT; ENERGY SAVING TECHNOLOGIES; ENVIRONMENTAL JUSTIFICATION; ECONOMIC INDICATORS.

The purpose of the work is to improve the water supply system of the settlement through the use of energy-saving water treatment technologies.

The subject of research is the structural and technological parameters of traditional and improved construction sewage treatment plants.

Developed elements of the water supply system for a settlement with a population of 155,273 inhabitants, developed energy-saving measures - the technology of reuse of washing water.

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| Завдання.....   | .....     |
| Анотація.....   | .....     |
| Вступ.....  | 9         |
| <b>РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГООЩАДНІ РОЗРОБКИ В ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОДИ.....</b>          | <b>10</b> |
| 1.1 Передумови розвитку енергоощадних технологій в Україні.....                           | 10        |
| 1.2 Застосування ресурсо та енергозберігаючих принципів на комунальних підприємствах..... | 14        |
| 1.3 Проблеми формування політики енергозбереження водопровідних господарств.....          | 18        |
| 1.4 Задачі кваліфікаційної роботи.....  | 22        |
| <b>РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ.....</b>                            | <b>23</b> |
| 2.1 Формування вихідних розрахункових параметрів.....                                     | 23        |
| 2.1.1 Охарактеризування забудови міста та визначення приблизної кількості мешканців.....  | 23        |
| 2.1.2 Опис джерела водопостачання та визначення умов забору води.....                     | 24        |
| 2.1.3 Розрахунок добових витрат води для населеного пункту.....                           | 25        |
| 2.2 Аналіз режиму водоспоживання населеного пункту.....                                   | 30        |
| 2.3 Створення принципової схеми системи водопостачання.....                               | 33        |
| <b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЕНЕРГООЩАДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ.....</b>                    | <b>34</b> |
| 3.1 Розробка водозабірних споруд.....   | 34        |
| 3.1.1 Характеристика умов приймання води.....   | 34        |
| 3.1.2 Розрахунок елементів водозабірних споруд.....                                       | 35        |
| 3.1.3 Розрахунок основного та допоміжного обладнання насосної станції...37                | 37        |
| 3.1.4 Визначення розмірів водозабору.....   | 39        |
| 3.1.5 Зони санітарної охорони водозабірної споруди.....                                   | 40        |
| 3.2 Вибір методу обробки води та визначення прогнозованих витрат.....                     | 41        |

|  |    |
|--|----|
| 3.3 Розробка технології реагентної обробки води.....                                   | 42 |
| 3.4 Розрахунок обладнання для реагентного господарства.....                            | 45 |
| 3.5 Визначення розрахункових параметрів змішувачів.....                                | 50 |
| 3.6 Розробка споруд для відстоювання води.....   | 53 |
| 3.7 Розрахунок робочих та конструкційних параметрів камер<br>пластівцеутворення.....   | 58 |
| 3.8 Розробка споруд для фільтрування води.....   | 61 |
| 3.9 Визначення діаметрів трубопроводів станції водо підготовки.....                    | 72 |
| 3.10 Розробка енергоощадної технології повторного використання<br>промивних вод.....   | 73 |
| 3.10.1 Визначення об'єму промивних вод.....  | 73 |
| 3.10.2 Розрахунок приймальних камер.....   | 73 |
| 3.10.3 Розрахунок пісковловлювачів.....  | 74 |
| 3.10.4 Розрахунок згущувачів.....  | 75 |
| 3.10.5 Розрахунок накопичувачів.....   | 76 |
| 3.11 Екологічне обґрунтування.....   | 77 |
| 3.12 Розрахунок споруд для дезінфекції води.....                                       | 78 |
| 3.13 Розробка вертикальної схеми очисних споруд.....                                   | 80 |
| 3.14 Розробка насосної станції другого підйому.....                                    | 81 |
| 3.14.1 Визначення розрахункової подачі насосної станції.....                           | 81 |
| 3.14.2 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів.....                   | 82 |
| 3.14.3 Визначення розрахункового напору насосів.....                                   | 83 |
| 3.14.4 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежогасінні.....                | 84 |
| 3.14.5 Підбір насосів та електродвигунів до них.....                                   | 86 |
| 3.14.6 Визначення позначок вісі насосів і долу насосної станції.....                   | 86 |
| 3.14.7 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідйомного<br>обладнання..... | 87 |
| 3.15 Розрахунок резервуарів чистої води.....   | 88 |
| 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....   | 90 |
| 4.1 Економічне порівняння технологічних рішень.....                                    | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.2 Розрахунок капітальних витрат.....  | 92  |
| 4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат.....                                      | 93  |
| 4.3.1 Витрати на сировину та матеріали.....                                     | 93  |
| 4.3.2 Витрати на паливо та енергію для технологічних цілей.....                 | 95  |
| 4.3.3 Витрати на основну та додаткову заробітну плату.....                      | 97  |
| 4.3.4 Витрати на соціальне страхування.....                                     | 97  |
| 4.3.5 Витрати на утримання та експлуатацію обладнання.....                      | 97  |
| 4.3.6 Загальновиробничі витрати.....  | 99  |
| 4.3.7 Інші виробничі витрати.....   | 99  |
| 4.3.8 Розрахунок собівартості водопостачання.....                               | 100 |
| 4.3.9 Розрахунок головних показників ефективності послуг<br>водопостачання..... | 100 |
| ВИСНОВКИ.....   | 102 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....   | 104 |



## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Розвиток місцевих комунальних підприємств, їх ефективне функціонування та досягнення стратегічних цілей повинні базуватися на енергоощадному підході до господарювання. Цей підхід спрямований на раціональне використання фінансових, трудових, енергетичних та інших ресурсів з метою максимізації їх потенціалу. Дослідження економічних процесів реалізації енергетичного потенціалу на підприємстві дозволяють підвищити його прибутковість, зміцнити позиції на ринку та зменшити фінансові та операційні ризики. Такий економічний розвиток окремого комунального підприємства внесе вагомий внесок у загальний економічний прогрес країни.

**Метою роботи** є вдосконалення системи водопостачання населеного пункту шляхом застосування енергозберігаючих технологій водопідготовки

**Об'єкт досліджень** – очисні споруди продуктивністю 74032 м<sup>3</sup>/добу.

**Предмет досліджень** – технологічна схема очищення природної води та технічні параметри очисних споруд.

**Методи досліджень.** Застосовані методи математичного моделювання, методи гідравлічних розрахунків.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати розробки системи водопостачання можуть служити основою для відновлення та реконструкції пошкодженої інфраструктури міст, яка постраждала внаслідок воєнних дій. Розроблена ресурсоощадна технологія повторного використання промивних вод після швидких фільтрів, яка дозволяє заощадити 2244800 м<sup>3</sup>/рік води за рік або 39957440 грн.

**Апробація роботи.** Головні положення доповідались на III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» [1], яка проводилась 17-20 жовтня 2023 року, (м. Запоріжжя).

## РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГООЩАДНІ РОЗРОБКИ В ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНОЇ ВОДИ

### 1.1 Передумови розвитку енергоощадних технологій в Україні

Економічний прогрес України в суттєвій мірі залежить від успішного вирішення завдань, пов'язаних із забезпеченням енергетичними ресурсами. Низький рівень нафтогазової самодостатності примушує український уряд звертатися до імпорту, але у зв'язку зі скороченням глобальних резервів вуглеводнів та збільшенням їхньої вартості, розв'язання енергетичних проблем лише шляхом імпорту виявляється недостатнім.

Сучасний світ активно розвиває нові стратегії розв'язання проблеми енергетичних ресурсів, спираючись на інноваційні підходи. Ці підходи включають вдосконалення технологічних процесів для підвищення енергоефективності виробництва, розвиток систем енергоощадження та розширення виробництва енергії шляхом використання відновлюваних джерел.

У розвинених економіках спостерігається зростання частки енергії, виробленої з використанням відновлюваних джерел. На відміну від цього, Україна, яка є енергодефіцитною країною, має високу залежність від імпорту, а саме 75% природного газу та 85% нафти та нафтопродуктів. Така структура паливно-енергетичного балансу становить серйозну загрозу для енергетичної безпеки.

В цьому контексті одним з основних завдань України є суттєве зменшення неефективного використання енергоресурсів. Вирішення цього завдання неможливе без розробки цілеспрямованої енергетичної політики, яка враховує можливості країни в області власного видобутку енергоресурсів, розвитку відновлюваної енергетики та енергоощадження, а також переходу до інновацій у виробництві.

Для досягнення цієї мети важливо аналізувати ключові аспекти проблеми та розробляти ефективні стратегії, використовуючи досвід країн

Європейського Союзу у сфері енергетичної політики та енергоощадження, застосування енергоощадних технологій на комунальних підприємствах.

Висока енергомісткість валового внутрішнього продукту України, що майже втричі перевищує середній рівень енергомісткості країн світу, виникає внаслідок суттєвого відставання галузей економіки від міжнародних стандартів. Водночас Україна має один з найвищих потенціалів у світі щодо енергоощадження. Умови сучасного розвитку ринкової економіки ставлять перед кожним промисловим підприємством завдання щодо раціонального використання енергетичних ресурсів, зменшення екологічного впливу на навколишнє середовище, досягнення прибутковості та виконання запланованих цілей.

Рівень конкурентоспроможності підприємств на внутрішньому і зовнішньому ринках, їхній ступінь незалежності та рівень розвитку визначаються показниками споживання енергії на одиницю виробленої продукції, а на рівні країни – енергомісткістю ВВП. В умовах енергетичної кризи наукові зусилля сфокусовані на розробці нових форм і методів, спрямованих на формування енергоефективності та реалізацію стратегій енергоощадження в промислових підприємствах.

Ефективне використання енергії є ключовим фактором для визначення рівня розвитку економіки, науки та соціокультурного прогресу нації. Україна, оцінюючи цей показник, входить до групи країн, де затримка в розвитку може викликати серйозну економічну кризу з подальшими значними соціальними труднощами. Національна енергомісткість валового внутрішнього продукту в цілому перевищує ту, яка є характерною для розвинених заходів країн у 3-5 разів. Це свідчить, що вироблені в Україні товари мають значно вищі витрати порівняно з аналогічними іноземними виробами.

Після енергетичної кризи 1970-х років передові країни світу активно взяли за підвищення енергоефективності. Зазначимо, що рівень

енергомiсткостi ВВП зменшився таким чином: в США – на 46%, в Японiї – на 35%, в ЄС – на 32%.

Енергетична iнтенсивнiсть валового внутрiшнього продукту (ВВП) в Україні та в окремих рeгiонах i краiнах свiту оцiнюється за допомогою показникiв нафтового еквiвалента (н.е.) та обсягу виробництва ВВП на одну особу населення (таблиця 1 [1])

Таблиця 1 – Енергетична iнтенсивнiсть ВВП

| Країна                    | Енергоємність ВВП<br>(кг н.е./дол. США) | Енергоємність ВВП<br>(кг н.е./дол. США) |
|---------------------------|---|---|
| Загалом світова тенденція | 0,31                                    | -                                       |
| Європейський Союз         | 0,27                                    | -                                       |
| Японія                    | 0,20                                    | 29,96                                   |
| Франція                   | 0,24                                    | 27,74                                   |
| Німеччина                 | 0,25                                    | 26,18                                   |
| США                       | 0,34                                    | 31,75                                   |
| Польща                    | 0,47                                    | 4,10                                    |

Отже, на цей час пiдвищення енергоефективностi в промисловому виробництвi та зменшення енерговитрат у житлово-комунальному секторi України не є питанням економiчної вигiдностi, але стає важливим аспектом виживання. Розв'язання цього питання дасть можливiсть забезпечити збалансоване платоспроможне внутрiшнє споживання та iмпорт енергоресурсiв.

У тих краiнах, де є достатнi власнi запаси вуглеводнiв, можливе розв'язання проблеми енерговитратного виробництва i значних витрат у житлово-комунальному секторi шляхом здешевлення цiн на вуглеводнi продукти. Але використання енерговитратних методiв управлiння є неприйнятним, оскiльки видобувнi галузi не отримують необхідних коштiв

для сталого розвитку, а навпаки, зазнають стагнації та починають занепадати. Отримання довгострокових кредитів для розрахунків за імпорт вуглеводнів є неможливим.

Розв'язання проблеми можливе шляхом поетапного та послідовного впровадження енергоощадження, що може призвести до економії до 1/3 енергоресурсів. Заощаджені кошти можуть бути направлені на оновлення застарілої технічної бази, впровадження нових технологій та підвищення рівня життя населення.

Україна вжила певних заходів для сприяння енергоощадження. У 1994 році був прийнятий Закон України «Про енергозбереження» [3], який визначав систему організаційних, регулятивних та заохочувальних заходів для підтримки ефективного використання енергії. Для організаційного забезпечення були створені відповідні органи державного управління, такі як Державний комітет з енергозбереження (1995 р.) та Державна інспекція з енергозбереження та її територіальні підрозділи (1996 р.).

У період 1997-2000 рр. була розроблена концепція та програма енергозбереження, включаючи бюджетну сферу. У 2001 році у державному бюджеті були виділені кошти на реалізацію енергоощадних заходів у бюджетній сфері на суму 25 млн гривень. З урахуванням додаткових коштів, залучених місцевими бюджетами (24 млн грн), очікуване скорочення бюджетних видатків на енергоресурси у закладах бюджетної сфери становило 66 млн гривень, а термін окупності цих витрат не перевищував одного року.

Враховуючи інтеграційний курс на європейську спільноту в нашій країні є актуальним розвиток енергоощадних технологій у всіх сферах економіки, що відповідає концепції «Зеленої книги» [4], яка розглядає основні принципи нової енергетичної політики, визначає ключові завдання та методи їх вирішення. Також в ній наголошується на необхідності стабільного забезпечення країн ЄС енергією від експортерів енергоносіїв, важливості лібералізації ринку, ефективному використанні енергоресурсів і розвитку

передових технологій у сфері енергетики, а також посиленні екологічних стандартів для споживання енергії.

Самої адекватною відповіддю на сучасні загрози в енергетичній сфері для України повинні стати рішучі структурні реформи, що охоплюють всі аспекти енергетичної політики: підвищення енергоефективності, формування конкурентних енергетичних ринків, диверсифікація джерел енергопостачання та збільшення у балансі енергії частки альтернативних джерел енергії та видів палива [5].

Попри це, державна політика в галузі енергоощадження потребує свого розвитку, що залежить від ефективності управління економікою та енергетичним сектором. Таким чином, наразі постає нагальне завдання виправлення цієї ситуації для досягнення кращих результатів [6].

## **1.2 Застосування ресурсоощадних та енергоощадних принципів на комунальних підприємствах**

Ситуація щодо ефективного використання енергії є складною в житлово-комунальному комплексі, де застосовуються старі теплові та водопостачальні станції із низьким коефіцієнтом корисної дії (ККД), що обслуговують зношені мережі. Це призводить до втрат енергії на рівні 45–50%. Для порівняння можна вказати, що українські теплові електростанції із паровими турбінами мають ККД 35% (іноді навіть 25%), в той час, як у світі активно впроваджуються парогазові установки (ПГУ) з ККД від 50% до 60%.

В документі [7] зазначається, що переосмислення регіональних програм з енергоощадження та енергоефективності у житлово-комунальному секторі містить у собі розширення їхнього змісту за допомогою інноваційних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності в цьому секторі. Також важливим елементом є впровадження заходів для стимулювання населення до виконання енергоефективних заходів та забезпечення проведення моніторингу оновлених регіональних та місцевих програм.

Розвиток місцевих комунальних підприємств, ефективно їх поточне функціонування та досягнення стратегічних цілей повинні ґрунтуватися на енергоощадному механізмі господарювання, спрямованому на управління фінансовими, трудовими, енергетичними та іншими ресурсами з метою максимального використання виявлених потенціалів. Дослідження економічних процесів реалізації енергетичного потенціалу на підприємстві дозволяють підвищити рентабельність його функціонування, утвердити його позиції на ринку, зменшити фінансові та операційні ризики. Такий економічний розвиток окремого комунального підприємства робить свій внесок у загальний економічний прогрес країни.

Останнім часом велика увага вчених приділяється питанням енергоощадження та підвищення енергоефективності підприємства.

Автори [8] вважає, що метою підвищення енергоефективності на підприємстві можуть бути наступні показники:

- зменшення значення показника енергомісткості виробництва та його поступове наближення до середньосвітового рівня;
- підвищення конкурентоспроможності підприємства на ринку;
- зниження собівартості продукції шляхом скорочення витрат на енергоносії;
- підвищення рівня рентабельності підприємства;
- створення позитивного іміджу підприємства в очах споживачів та конкурентів.

Як зазначено у статті [9] головними факторами, що впливають на низьку енергетичну ефективність підприємств, є:

- значний фізичний та моральний знос основних засобів, що веде до високої аварійності обладнання;
- низький рівень контролю та регулювання використання енергоресурсів;
- великі втрати у виробничих процесах та висока витрата первинних паливно-енергетичних ресурсів;

- недостатність кваліфікованих фахівців у галузі енергетичного менеджменту.
- низький рівень мотивації персоналу для здійснення заходів щодо енергоощадження та інших схожих ініціатив.

У монографії Джеджули В.В. [10] запропоновано встановлювати етапи побудови енергоощадного механізму на підприємстві за такою схемою (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Етапи формування механізму ресурсощадження та енергоощадження на підприємстві

Першим етапом будівництва механізму є утворення на підприємстві енергетичного менеджменту, який візьме на себе впровадження та підтримку цього проєкту. Лідером цієї групи обирається головний інженер або головний енергетик. На регулярних засіданнях обговорюються актуальні питання енергоощадження, визначається компанія, яка проведе економіко-енергетичне обстеження.

Другий етап включає утворення групи експертів, які будуть забезпечувати інформаційну підтримку обстеження. Експертні висловлення підприємства завжди враховуються енергетичними аудиторами під час обстеження та в економіко-математичному моделюванні.



Третій етап передбачає активне впровадження енергоощадного механізму. Значну частину організаційно-економічних заходів здійснює енергоаудиторська група на підприємстві за повної підтримки від керівництва. Проводяться необхідні обстеження, заміри, розрахунки, використовуються наявні статистичні дані, фінансова звітність, результати вимірювань споживання енергоносіїв, а також порівнюються показники енергоспоживання з аналогічними підприємствами та інші аспекти.

Четвертий етап впровадження енергоощадних заходів включає реорганізацію структури підприємства та призначення відповідальних осіб за кожну групу впроваджуваних заходів. Важливо провести роз'яснювальну політику та визначити систему мотиваційних заохочень та стягнень.

П'ятий етап передбачає коригування механізму залежно від змін внутрішніх і зовнішніх умов.

Ці загальні етапи впровадження енергоощадного господарювання для комунальних підприємств більш конкретизовані у законі «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» [11].

Так автори Дмитрук Б. П., Светлова Н. М. [12] наголошують, що в цьому документі є важливі позитивні нормативи для впровадження енергоощадного механізму, а саме:

А) Чітко визначені строки для ведення обліку в усіх приміщеннях, без винятку, і встановлена відповідальність за їх порушення, що відповідає європейській практиці.

Б) Введення загального обліку використання енергоресурсів сприятиме їх економії. Таким чином, оплата за теплозабезпечення буде прямо залежати від кількості та якості поданого в приміщення енергоносія. З регульовальним обладнанням споживач матиме можливість економити на споживанні тепла при зміні погодних умов. Це також сприятиме зменшенню можливостей зловживання з боку тепло- і водопровідних організацій.

В) Запропонована система обліку на вході в будівлі є значно вдосконаленою порівняно з наявною: одиницею споживання енергоресурсів є

весь будівельний об'єкт. Це змусить споживачів покращити технологічний процес і прийняти енергоощадні заходи для зменшення втрат ресурсів, які для більшості комунальних підприємств становлять близько 40%.

### **1.3 Проблеми формування політики енергоощадження водопровідних господарств**

В рамках Закону України «Про енергозбереження»<sup>[1]</sup> визначено ключові напрямки, що безпосередньо належать до вирішення завдань енергоощадження у житлово-комунальному господарстві:

1. Здешевлення вартості та підвищення якості житлово-комунальних послуг.
2. Забезпечення прозорості встановлення тарифів на ці послуги.
3. Збільшення джерел їх фінансування з наданням гарантій для соціально незахищених верств населення.
4. Розробка фінансових механізмів впровадження ресурсощадних технологій з метою здешевлення вартості житлово-комунальних послуг та відповідного зниження тарифів.
5. Сприяння залученню інвестицій для розвитку організацій, що обслуговують і ремонтують об'єкти житлово-комунального господарства.
6. Удосконалення механізму фінансування та кредитування житлово-комунального господарства для забезпечення виконання цільових програм енергоощадження, впровадження передової техніки та технологій.

Варто відзначити, що темпи зниження енергомісткості валового внутрішнього продукту залишаються низькими через повільність у впровадженні енергоощадних заходів. Зокрема, це стосується комунального сектора економіки України - водопровідно-каналізаційних підприємств. Великий фізичний знос основних фондів (65-70%) та підвищення питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів на одиницю продукції та послуги стають причиною цього низького темпу зниження енергомісткості [13].

Житлово-комунальне господарство займає третє місце в Україні за обсягами споживання ресурсів та енергоносіїв, стоячи позаду металургійної та хімічної промисловості, і займає перше місце за споживанням тепла. Однак через технічні проблеми та застарілі технології, до 30-40% спожитих ресурсів витрачається марно. Стимулів до раціонального використання енергії поки що недостатньо.

На сьогодні відомим є факт, що підвищення енергоефективності та ресурсоощадження - це один із ключових шляхів для виходу країни з енергетичної кризи та створення необхідних умов для відбудови зруйнованої інфраструктури [14]. Це не тільки економічно вигідно, але й допомагає зменшити витрати на енергоносії та звільнити кошти для впровадження сучасних енергоефективних та ресурсоощадних технологій водопідготовки. Енергоощадження – це насамперед економія первинних енергоресурсів таких як вода, газ, електроенергія, тепло, особливо для комунальних підприємств. Принцип енергоощадження полягає у забезпеченні наявного рівня послуг з меншими ресурсними витратами. Зазвичай, вкладення у технічне переозброєння виробництва здійснюється державними та місцевими бюджетами, але цей підхід є лише частиною ресурсоощадних процесів.

Для комунальних підприємств вивчення статистичних даних про пошкодження насосів може служити початковим кроком для підвищення надійності роботи насосного агрегату. Аналіз цієї інформації дозволяє ідентифікувати найменш надійні вузли та деталі насосного обладнання і розробити стратегію та тактику для зменшення кількості відмов у його роботі та збільшення коефіцієнтів корисної дії [15].

Як зазначено в публікації [16] зменшення витрат електроенергії та води можливе при переході до оборотних систем водопостачання. Перехід від прямотічного до оборотного водопостачання в системах охолодження енергетичного та технологічного обладнання призводить до зниження використання води зовнішніх джерел і водночас розвантажує помпове обладнання систем водозабору та очисних споруд.

У сфері ресурсоощадження та енергоощадження для успішного ведення господарювання необхідно враховувати різні технічні, організаційні та економічні особливості. Кожне підприємство, зокрема у сфері водопостачання та водовідведення, повинно вирішувати завдання щодо ефективного використання внутрішніх ресурсів та залучення зовнішніх інвестицій у сферу енергоощадження. Цей процес базується на системній роботі, яка включає глибокий енергоаудит, розробку та докладне економічне обґрунтування проєктів для модернізації технологій та впровадження інноваційної техніки.

Собівартість очищеної природної води становить комплексний якісний показник функціонування комунального підприємства, охоплюючи різні аспекти його діяльності, такі як технологічний рівень, організація та ефективність праці, оптимальне використання виробничих потужностей, а також раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів [17]. Тому технології водопідготовки з повторним використанням промивних вод є вагомим внеском для ресурсоощадження та енергоощадження у водопровідному господарстві.

Практика впровадження енергоощадження на підприємствах водопостачання та водовідведення виявляє, що найбільш поширеними перешкодами у цьому процесі є відсутність кваліфікованих енергоменеджерів, які здатні забезпечити ефективність інвестиційних проєктів з підвищення енергоефективності та ресурсоощадження.

Іншими факторами є нескоординованість механізмів залучення інвестицій для реалізації проєктів з енергозбереження та повернення запозичених фінансових ресурсів, а також хронічний брак коштів [18]. Багато керівників підприємств сумніваються у вигідності впровадження ресурсоощадних та енергоощадних заходів та не готові взяти на себе додаткові ризики.

На рівні виконавців проєктів також існує невпевненість в адекватному винагородженні за їхню роботу. Однією з основних проблем у розвитку

енергозбереження у житлово-комунальній сфері є відсутність законодавчого регулювання щодо взаємної відповідальності місцевих органів влади, керівників комунальних підприємств та виконавців на всіх етапах впровадження енергоощадних заходів. В рамках Спільної програми «Сприяння стратегічному плануванню та фінансуванню сталого розвитку на національному та регіональному рівнях в Україні» передбачені комплексні заходи, спрямовані на підтримку уряду України у формуванні спільних підходів до управління фінансовими потоками та впровадження реформ, пов'язаних із фінансуванням Порядку денного у сфері сталого розвитку до 2030 року [19]. Воєнні події внесли негативні корективи у цей процес. Для подолання цих труднощів і досягнення значного підвищення енергоефективності важливо вдосконалювати законодавство з енергозбереження, встановити ефективну систему тарифів на воду і водовідведення, що сприятиме реальному впровадженню ресурсощадних заходів та енергозбереження, розробити механізми впровадження ресурсозберігаючих технологій та впровадити систему енергетичного менеджменту, енергетичні паспорти та системні енергоаудити на підприємствах. Екологічна складова також є важливим стимулом впровадження енергоощадних технологій, зокрема застосування промивних вод для власних потреб станцій водопідготовки. Закордонні фахівці [20] також вважають, що екологічні та фінансові мотиви господарювання впливають на інвестиції в енергоощадні технології. Дефіцит водних ресурсів спонукає розглядати питання про можливість використання очищених стічних вод для питних потреб [21, 22] Важливо відзначити, що ресурсощадження та енергозбереження в кінцевому підсумку може значно поліпшити економічний стан як окремих підприємств, так і національної економіки в цілому.

Одним із ключових аспектів, який варто враховувати, є значні витрати ресурсів на водопідготовку, біологічне очищення та реалізацію води, а також водовідведення стоків[23]. В цьому контексті важливо підкреслити, що в

сучасних умовах енергозбереження є найбільш ефективним заходом для зниження собівартості комунальних послуг.

#### **1.4 Задачі кваліфікаційної роботи**

В результаті аналізу літературних джерел зроблено наступні висновки:

- питна вода та послуги водовідведення є товаром на ринку, який потрібно ефективно постачати споживачам;
- як і будь-який інший товар, енергоносії та питна вода мають свою ціну, яка повинна забезпечувати покриття витрат виробника та постачальника, з іншого боку, ціна повинна враховувати фінансову спроможність споживачів, зокрема населення, для здійснення покупок за прийнятними тарифами;
- вода є однією з ключових та найважливіших складових життєвого ресурсу, об'єми якого обмежені природою, тому марнотратність та непродуктивне використання цього ресурсу призводять до зниження рівня життя суспільства;
- зменшення витрат енергії та відповідне зниження вартості послуг з водопостачання та водовідведення потребує значних інвестицій, на які часто не вистачає фінансових ресурсів, тому фінансування заходів з ресурсоощадження та енергозбереження є важливою умовою.

Задачі кваліфікаційної роботи:

- розрахунок вихідних даних для розробки технології очищення природної води;
- розробка технологічної схеми водопідготовки;
- розробка енергоощадної технології повторного використання промивних вод;
- екологічне обґрунтування системи очищення природної води;
- економічне обґрунтування.

## РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ

### 2.1 Формування вихідних розрахункових параметрів

2.1.1 Охарактеризування забудови міста та визначення приблизної кількості мешканців

За рівнем інфраструктури та типом забудови територія міста може бути поділена на два райони. Перший район включає в себе 5-поверхові будинки з внутрішнім водопроводом, каналізацією та ваннами з місцевими водонагрівачами. Другий район характеризується переважно наявністю 9-поверхової забудови, де будинки мають внутрішній водопровід, каналізацію і централізоване гаряче водопостачання. У місті функціонують два промислових підприємства, їх характеристики наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1–Характеристика підприємств

| Назва підприємства          | Витрата води на од. продукції | Продуктивність | Витрата води на виробництво | Кількість працюючих по змінах |                     |   | Категорія пожежної безпеки |
|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|---|----------------------------|
|                             | м <sup>3</sup> /т             |                |                             | т/доб                         | м <sup>3</sup> /доб | 1 |                            |
| №1(деревообробний комбінат) | 3,5                           | 1000           | 3500                        | 600                           | 400                 | - | ПА,Б                       |
| №2 (рибообробний комбінат)  |                               | 521            | 12000                       | 600                           | 500                 | - | Ш В                        |

Кількість населення в кожному районі міста обчислено по формулі:

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

де  $P_i$  – густина населення, чол/га;

$F_i$  – площа і-го району.

$$N_1 = 179.36 \times 210 = 37665 \text{ чол.}; \quad N_2 = 261.35 \times 450 = 117608 \text{ чол.}$$

### 2.1.2 Опис джерела водопостачання та визначення умов забору води

Джерелом водопостачання є природний водотік – річка, характеристика води в якому представлена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика джерела водопостачання

| №  | Показник                                     | Одиниця виміру | Значення показника |
|----|--|----------------|--------------------|
| 1. | Мутність                                     | мг/л           | 140                |
| 2. | Кольоровість                                 | град.          | 75                 |
| 3. | pH   |                | 7,8                |
| 4. | Вміст:                                       |                |                    |
|    | - кальцію $\text{Ca}^{2+}$                   | мг-екв/л       | 5,2                |
|    | - магнію $\text{Mg}^{2+}$                    | мг-екв/л       | 1,7                |
|    | -хлору $\text{Cl}^-$                         | мг/л           | 75,8               |
|    | - сульфатів $\text{SO}_4^{2-}$               | мг/л           | 98,6               |
|    | - натрію, калію $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ | мг/л           | 26                 |
|    | сухий залишок                                | мг/л           | 550                |
|    | фтор $\text{F}^-$                            | мг/л           | 0,75               |
| 5. | Твердість                                    | мг-екв/л       | 4,0                |
| 6. | Лужність                                     | мг-екв/л       | 4,0                |
| 7. | Температура                                  | С              | 20                 |

Умови забору води визначені відповідно до [24, табл.11] з урахуванням наступних показників:

Витрата води:

-максимальна

18 м<sup>3</sup>/с

-мінімальна

12 м<sup>3</sup>/с



|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| Швидкість води в річці                |            |
| -максимальна                          | 0,5 м/с    |
| -мінімальна                           | 0,3 м/с    |
| Рівень води в річці                   |            |
| -зимовий                              | 47,6м      |
| -літній                               | 45,1м      |
| -в паводок                            | 49м        |
| Гідравлічна крупність наносів<br>мм/с | 6,9        |
| Товщина льоду                         | 0,7 м      |
| Висота хвилі                          | 0,5 м      |
| Ґрунти, що складають берег річки      |            |
| -до 3 м                               | пісок      |
| -до 6 м                               | супісь     |
| -більше 6 м<br>суглінок               |            |
| Якісний склад води                    |            |
| -каламутність                         | 140 мг/л   |
| -кольоровість                         | 75 град    |
| -лужність                             | 4 мг-екв/л |

Враховуючи каламутність води 140 мг/л, що менше зазначених 500 мг/л [24, табл.11], відсутність внутрішньоводного льодоутворення, льодостав помірної потужності (до 0,8 м) 1мови забору води можна віднести до легких.

### 2.1.3 Розрахунок добових витрат води для населеного пункту

У місті воду використовують для господарсько-питних потреб населення, поливу вулиць та зелених насаджень, а також для задоволення потреб промислових підприємств. Для обох районів визначається окрема кількість води, що витрачається на господарсько-питні потреби та полив. Середньодобова витрата води для і-го району розраховується за наступною формулою, вираженою в метрах кубічних на добу:

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

де  $q_i$  - питоме водоспоживання на одну людину, л/доб [24, табл.1].

Розрахункові витрати води для окремих районів у добу найбільшого та найменшого водоспоживання, м<sup>3</sup>/доб, визначені за формулами:

$$Q_{\text{доб.макс}i} = K_{\text{доб.макс}i} \times Q_{\text{доб}i} \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{доб.мін}i} = K_{\text{доб.мін}i} \times Q_{\text{доб}i}, \quad (2.4)$$

де  $K_{\text{доб.макс}i}$   $K_{\text{доб.мін}i}$  – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання  $i$ -го району [1, п. 6.1.2].

Результати розрахунків добових витрат води представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення

| №      | Кількість мешканців чол. | q, л/доб люд | K <sub>доб.макс</sub> | K <sub>доб.мін.</sub> | Q <sub>доб.макс</sub> | Q <sub>доб.мін</sub> | Q <sub>доб.сер.</sub> |
|--------|--------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| 1      | 37665                    | 230          | 1,2                   | 0,8                   | 10395                 | 6930                 | 8663                  |
| 2      | 117608                   | 285          | 1,18                  | 0,75                  | 39549                 | 25137                | 33516                 |
| Усього | 155273                   |              |                       |                       | 49944                 | 32067                | 42179                 |

Добова кількість води, яка використовується для поливу вулиць та зелених насаджень, визначається на основі питомих витрат води на одного мешканця [24, табл. А2], які застосовуються для міст з населенням в діапазоні від 50 тис. до 250 тис. осіб, знаходячись у II кліматичному районі. Для всіх районів приймається, що питома витрата води на полив одного мешканця становить 65 літрів на добу. Загальна кількість використаної води розподіляється так: 40% використовують двірники, а 60% – поливальні машини. Розрахунок витрат води на полив вулиць і зелених насаджень представлено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – 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 <sup>3</sup> /доб |                 |               |
|--------------|---------------------|--------------------------------|---|-----------------|---------------|
|              |                     |                                | Всього по району                                  | Двірниками, 40% | Машинами, 60% |
| Перший район | 37665               | 65                             | 2448  | 979,2           | 1468,8        |
| Другий район | 117608              | 65                             | 7645  | 3058            | 4587          |
| Усього       | 155273              |                                | 10093   | 4037,2          | 6055,8        |

На промислових підприємствах вода використовується для задоволення господарсько-питних потреб робітників, приймання душу та виробничих потреб, які визначаються з урахуванням технологічних вимог. Питоме водоспоживання для цехів із тепловиділенням, яке перевищує 80 кДж (20 ккал) на 1 м<sup>3</sup>/год (гарячі цехи), приймається на рівні 45 літрів на одну людину. Для інших цехів ця величина складає 25 літрів на людину. Розрахунок витрат води на промислових підприємствах наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Витрати на господарсько-питні потреби робітників

| Зміна                                      | Кількість робітників | Гарячі цеха                |                          |                              | Холодні цеха              |                          |                              | Загалом на витрата |
|--|----------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------|
|  |                      | Кількість робітників, чол. | Питома витрата, л/зм чол | Витрата води, м <sup>3</sup> | Кількість робітників, чол | Питома витрата, л/зм чол | Витрата води, м <sup>3</sup> |                    |
| 1  | 2                    | 3                          | 4                        | 5                            | 6                         | 7                        | 8                            | 9                  |
| Підприємство № 1 (деревообробний комбінат) |                      |                            |                          |                              |                           |                          |                              |                    |
| 1  | 600                  | 60                         | 45                       | 2,7                          | 540                       | 25                       | 13,5                         | 16,20              |
| 2  | 400                  | 40                         |                          | 1,8                          | 360                       |                          | 9                            | 10,80              |
|  | 1000                 | 100                        |                          | 4,5                          | 900                       |                          | 22,5                         | 27,00              |
|  |                      |                            |                          |                              |                           |                          |                              |                    |

| 1  | 2    | 3   | 4  | 5    | 6   | 7  | 8    | 9    |
|--|------|-----|----|------|-----|----|------|------|
| Підприємство № 2 (рибообробний комбінат) |      |     |    |      |     |    |      |      |
| 1  | 600  | 240 | 45 | 10,8 | 360 | 25 | 9    | 19,8 |
| 2  | 500  | 200 |    | 9    | 300 |    | 7,5  | 16,5 |
|  | 1100 | 440 |    | 19,8 | 660 |    | 16,5 | 36,3 |
|  |      |     |    |      |     |    |      |      |

Витрата води на користування душем на промпідприємстві:

$$Q = 0,5 \sum N_i / n_i , \quad (2.5)$$

де 0.5 – годинна витрата води на одну душову сітку, м<sup>3</sup>;

$N_i$  – кількість робітників у цехах з  $i$ -ою характеристикою виробничого процесу;

$n_i$  – розрахункова кількість людей на одну душову сітку для  $i$ -ої санітарної характеристики виробничого процесу [2]. Результати у табл.2.6.

Деревообробний комбінат використовує 3,5 м<sup>3</sup> води на 1т продукції, виготовляє 1000 м<sup>3</sup> продукції за добу, таким чином, добова витрата води складає 3500 м<sup>3</sup>. Рибообробний комбінат використовує 23 м<sup>3</sup> води на 1 т продукції, при 446,5 т продукції за добу, добова витрата води складає 10270 м<sup>3</sup>. Населення міста більше 100 тис. чол. і площа підприємства менше 150 га [1, п. 6.2.11]. Тому загальна витрата на гасіння однієї зовнішньої пожежі дорівнює сумі необхідної витрати в населеному пункті та 50% витрати на підприємстві. Витрата на зовнішнє пожежегасіння в населеному пункті з кількістю населення більше 100 тис. чол. і поверховістю будинків більше 3 поверхів дорівнює 40 л/с з кількістю одночасних пожеж 3 [1, табл.3]. Витрата на зовнішнє пожежегасіння на деревообробному комбінаті зі ступенем вогнестійкості будинків I і категорією виробництва за пожежною безпекою А і Б при об'ємах будинків від 5 до 20 тис. м<sup>3</sup> складає 15 л/с; на рибокомбінаті зі ступенем вогнестійкості будинків III і категорією

Таблиця 2.6 – Розрахунок витрат води на приймання душу

| Назва                   | Зміна |     |   | Група процесу | Кількість робітників на 1 сітку | Кількість сіток |    |   | Витрата води, куб. м |      |      |
|-------------------------|-------|-----|---|---------------|---------------------------------|-----------------|----|---|----------------------|------|------|
|                         | 1     | 2   | 3 |               |                                 | 1               | 2  | 3 | 1                    | 2    | 3    |
| Деревообробний комбінат |       |     |   |               |                                 |                 |    |   |                      |      |      |
| Гарячий цех             | 60    | 40  |   | Іб            | 7                               | 1               | 2  | 3 | 1                    | 2    | 3    |
|                         |       |     |   |               |                                 | 9               | 6  |   | 4,5                  | 3    | 7,5  |
| Холодний цех            | 540   | 360 |   | Іа            | 15                              | 36              | 24 |   | 18                   | 12   | 30   |
| Усього                  | 600   | 400 |   |               |                                 |                 |    |   | 22,5                 | 15   | 37,5 |
| Рибообробний комбінат   |       |     |   |               |                                 |                 |    |   |                      |      |      |
| Гарячий цех             | 240   | 200 |   | Іб            | 7                               | 34              | 29 |   | 17                   | 14,5 | 31,5 |
| Холодний цех            | 360   | 300 |   |               | 15                              | 24              | 20 |   | 12                   | 10   | 22   |
| Усього                  | 600   | 500 |   |               |                                 |                 |    |   | 19                   | 24,5 | 43,5 |

виробництва за пожежною безпекою В при об'ємах будинків від 3 до 5 тис. м<sup>3</sup> – 15 л/с [1, табл.5].

Загальна витрата на пожежегасіння визначається за формулою:

$$Q_n = n(q_{зов} + q_{вн}) + 0.5q_{нід}, \quad (2.6)$$

де  $n_{п}$  – кількість одночасних пожеж;

$q_{зов}$  – розрахункова витрата води на гасіння зовнішньої пожежі, л/с;

$q_{вн}$  – розрахункова витрата води на внутрішнє пожежегасіння, л/с;

$q_{нід}$  – витрата на пожежегасіння на підприємстві

$$Q_{п} = 3(40+5) + 0,5 \times (15+15) = 150 \text{ л/с.}$$

При розрахунковій тривалості гасіння пожежі, що дорівнює 3 годинам, об'єм води на пожежегасіння становить:

$$W_{пож} = 3 \times 3600 \times 150 / 1000 = 1620 \text{ м}^3.$$

## 2.2 Аналіз режиму водоспоживання населеного пункту

Максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності  $i$ -го району визначається по формулі:

$$K_{год i} = \alpha_i \beta_i, \quad (2.7)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків,  $\alpha_1 = 1,2$ ;

$\alpha_2 = 1,21$  [24, п. 6.1.2];

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує число мешканців у відповідному районі,  $\beta_1 = 1,18$ ;

$\beta_2 = 1,1$  [24, п. 6.1.2].

$$K_{год 1} = 1,2 \times 1,18 = 1,42,$$

$$K_{год 2} = 1,21 \times 1,1 = 1,33$$

Розрахункові витрати показані у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Сумарне водопостачання міста

| Години      | Господарсько-побутове водоспоживання |               |             |             | Полив    |              |          |              | Деревообробний комбінат |             |              |             |               |              |
|-------------|--------------------------------------|---------------|-------------|-------------|----------|--------------|----------|--------------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
|             | 1 район                              |               | 2 район     |             | 1 район  |              | 2 район  |              | Гарячий цех             |             | Холодний цех |             | Душ,<br>куб.м | Виробництво  |
|             | %                                    | куб.м         | %           | куб.м       | Двірники | Машини       | Двірники | Машини       | куб.м                   | %           | куб.м        | %           |               |              |
| 0-1         | 2,5                                  | 259,90        | 3,2         | 1265,6      |          |              |          |              |                         |             |              |             | 37,5          | 145,8        |
| 1-2         | 2,65                                 | 275,50        | 3,25        | 1285,3      |          |              |          |              |                         |             |              |             |               | 145,8        |
| 2-3         | 2,2                                  | 228,70        | 2,9         | 1146,9      |          |              |          |              |                         |             |              |             |               | 145,8        |
| 3-4         | 2,25                                 | 233,80        | 2,9         | 1146,9      |          |              |          |              |                         |             |              |             |               | 145,8        |
| 4-5         | 3,2                                  | 332,60        | 3,35        | 1324,9      | 97,9     |              | 305,8    |              |                         |             |              |             |               | 145,8        |
| 5-6         | 3,9                                  | 405,40        | 3,75        | 1483,1      | 97,9     |              | 305,8    |              |                         |             |              |             |               | 145,8        |
| 6-7         | 4,5                                  | 467,8         | 4,15        | 1641,3      | 97,9     | 104,9        | 305,8    | 327,6        |                         |             |              |             |               | 145,8        |
| 7-8         | 5,1                                  | 530,10        | 4,65        | 1839        | 97,9     | 104,9        | 305,8    | 327,6        |                         |             |              |             |               | 145,8        |
| 8-9         | 5,35                                 | 556,10        | 5           | 1977,3      |          | 104,9        |          | 327,6        | 15,65                   | 0,42        | 18,75        | 2,53        |               | 145,8        |
| <b>9-10</b> | <b>5,92</b>                          | <b>615,40</b> | <b>5,55</b> | <b>2195</b> |          | <b>104,9</b> |          | <b>327,6</b> | <b>12,05</b>            | <b>0,32</b> | <b>6,25</b>  | <b>0,84</b> |               | <b>145,8</b> |
| 10-11       | 5,28                                 | 548,90        | 4,8         | 1898,4      |          | 105          |          | 327,6        | 12,05                   | 0,32        | 12,5         | 1,68        |               | 145,8        |
| 11-12       | 5,25                                 | 545,70        | 4,5         | 1779,7      |          | 105          |          | 327,6        | 12,05                   | 0,32        | 12,5         | 1,68        |               | 145,8        |
| 12-13       | 4,6                                  | 478,20        | 4,5         | 1779,7      |          | 105          |          | 327,7        | 12,05                   | 0,32        | 18,75        | 2,53        |               | 145,8        |
| 13-14       | 4,4                                  | 457,40        | 4,3         | 1700,6      |          | 105          |          | 327,7        | 12,05                   | 0,32        | 6,25         | 0,84        |               | 145,8        |
| 14-15       | 4,6                                  | 478,20        | 4,4         | 1740,2      |          | 104,9        |          | 327,7        | 12,05                   | 0,32        | 12,5         | 1,69        |               | 145,8        |
| 15-16       | 4,60                                 | 478,20        | 4,55        | 1799,5      |          | 104,9        |          | 327,7        | 12,05                   | 0,32        | 12,5         | 1,69        |               | 145,8        |
| 16-17       | 4,9                                  | 509,40        | 4,5         | 1779,7      |          | 104,9        |          | 327,7        | 15,65                   | 0,28        | 18,75        | 1,69        | 37,5          | 145,9        |
| 17-18       | 4,6                                  | 478,20        | 4,25        | 1680,8      | 97,9     | 104,9        | 305,8    | 327,7        | 12,05                   | 0,22        | 6,25         | 0,57        |               | 145,9        |
| 18-19       | 4,7                                  | 488,60        | 4,5         | 1779,7      | 97,9     | 104,9        | 305,8    | 327,6        | 12,05                   | 0,22        | 12,5         | 1,13        |               | 145,9        |
| 19-20       | 4,60                                 | 478,20        | 4,4         | 1740,2      | 97,9     | 104,9        | 305,8    | 327,6        | 12,05                   | 0,22        | 12,5         | 1,12        |               | 145,9        |
| 20-21       | 4,4                                  | 457,40        | 4,4         | 1740,2      | 97,9     |              | 305,8    |              | 12,05                   | 0,22        | 18,75        | 1,69        |               | 145,9        |
| 21-22       | 4,2                                  | 436,60        | 4,5         | 1779,7      | 97,9     |              | 305,8    |              | 12,05                   | 0,23        | 6,25         | 0,56        |               | 145,9        |
| 22-23       | 3,7                                  | 384,60        | 4,2         | 1661,1      | 97,9     |              | 305,8    |              | 12,05                   | 0,22        | 12,5         | 1,13        |               | 145,9        |
| 23-24       | 2,6                                  | 270,10        | 3,5         | 1384,2      |          |              |          |              | 12,05                   | 0,23        | 12,5         | 1,13        |               | 145,9        |
| Усього      | 100                                  | 10395,00      | 100         | 39549       | 979      | 1469         | 3058     | 4587         | 200                     | 4,5         | 200          | 22,5        | 75            | 3500         |

продовження таблиці 2.7

| Рибокомбінат |            |              |             |            | Усього       |                |             |
|--------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|----------------|-------------|
| Гарячий цех  |            | Холодний цех |             | Душ, куб.м | Виробництво  | %              | куб.м       |
| %            | куб.м      | %            | куб.м       |            |              |                |             |
|              |            |              |             | 43,5       | 427,9        | 2180,20        | 2,94        |
|              |            |              |             |            | 427,9        | 2134,50        | 2,88        |
|              |            |              |             |            | 427,9        | 1949,30        | 2,63        |
|              |            |              |             |            | 427,9        | 1954,40        | 2,63        |
|              |            |              |             |            | 427,9        | 2634,90        | 3,56        |
|              |            |              |             |            | 427,9        | 2865,90        | 3,87        |
|              |            |              |             |            | 427,9        | 3519,00        | 4,75        |
|              |            |              |             |            | 427,9        | 3779,00        | 5,1         |
| 15,65        | 1,69       | 18,75        | 1,69        |            | 427,9        | 3545,93        | 4,78        |
| <b>12,05</b> | <b>1,3</b> | <b>6,25</b>  | <b>0,56</b> |            | <b>427,9</b> | <b>3819,62</b> | <b>5,16</b> |
| 12,05        | 1,3        | 12,5         | 1,12        |            | 427,9        | 3458,02        | 4,67        |
| 12,05        | 1,3        | 12,5         | 1,13        |            | 427,9        | 3336,13        | 4,5         |
| 12,05        | 1,3        | 18,75        | 1,68        |            | 427,9        | 3270,13        | 4,42        |
| 12,05        | 1,3        | 6,25         | 0,56        |            | 427,9        | 3167,42        | 4,28        |
| 12,05        | 1,3        | 12,5         | 1,12        |            | 427,9        | 3229,13        | 4,36        |
| 12,05        | 1,3        | 12,5         | 1,13        |            | 427,9        | 3288,44        | 4,44        |
| 15,65        | 1,4        | 18,75        | 1,4         | 43,5       | 427,9        | 3381,27        | 4,57        |
| 12,05        | 1,08       | 6,25         | 0,46        |            | 427,9        | 3571,43        | 4,82        |
| 12,05        | 1,08       | 12,5         | 0,94        |            | 427,9        | 3681,67        | 4,97        |
| 12,05        | 1,08       | 12,5         | 0,94        |            | 427,9        | 3631,76        | 4,91        |
| 12,05        | 1,08       | 18,75        | 1,4         |            | 428          | 3179,59        | 4,28        |
| 12,05        | 1,08       | 6,25         | 0,47        |            | 428          | 3196,24        | 4,28        |
| 12,05        | 1,08       | 12,5         | 0,94        |            | 428          | 3026,67        | 4,1         |
| 12,05        | 1,08       | 12,5         | 0,96        |            | 428          | 2231,60        | 3,1         |
| 200          | 19,8       | 200          | 16,5        | 87         | 10270        | 74032,25       | 100         |



### 2.3 Створення принципової схеми системи водопостачання

Водозабірні споруди розташовані вздовж берега водотоку. Вони та очисна станція знаходяться у верхній частині проти течії на відстані 2,6 км від межі житлової забудови. Насосна станція другого підйому розташована на території станції водопідготовки. Розташування основних компонентів системи водопостачання зображено на рисунку 2.1. За допомогою водозабірної споруди 1 вода забирається з джерела і подається насосами першого підйому 2 по водопроводам 3 до очисних споруд 4. Очищена вода потрапляє в резервуари чистої води 5, з яких насосами другого підйому 6 по водопроводах 7 подається у міську водопровідну мережу 8. Передбачено встановлення водонапірної башти 9

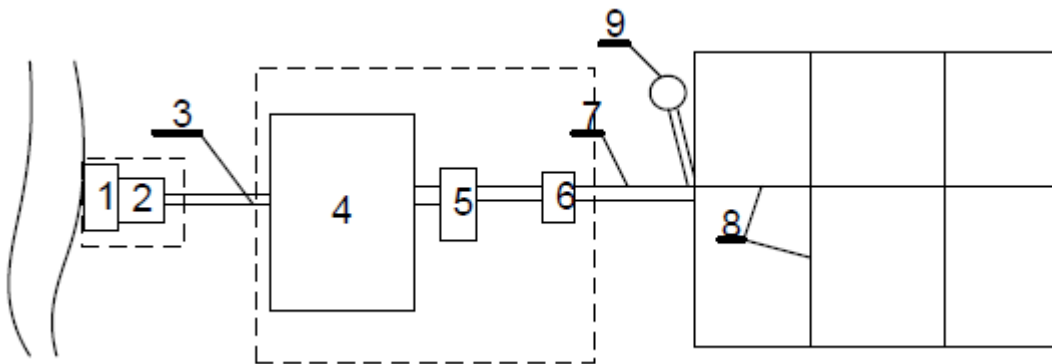


Рисунок 2.1 – Принципова схема системи водопостачання

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЕНЕРГООЩАДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

### 3.1 Розробка водозабірних споруд

#### 3.1.1 Характеристика умов приймання води

Як видно з рельєфу місцевості (лист №1), місце водозабору обрано на достатньо крутому схилі, берег обривистий і необхідні глибини для забору води знаходяться близько від берега, тому до розрахунку приймаються водозабірні споруди берегового типу.

Шугольодовий режим оцінюється по критеріальним швидкостям. Так як швидкість течії при транспорті шуги  $V = 0.5 \leq 0.5i / \tilde{n}$  (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:

$$V_{k2} = 0.7 + 0.06H_p, \quad (3.1)$$

де  $H_p$  – розрахункова глибина потоку при шугоході, м:

$$H_p = 0,7 \times H_{\text{макс}}, \quad (3.2)$$

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

$$H_p = 0,7 \times 9 = 6.3 \text{ м},$$

$$V_{k2} = 0.7 + 0.06 \times 6.3 = 1,08 \text{ м/с}.$$

Так як швидкість в річці меша другій критеріальній швидкості, то ускладнень забору води через шугу не буде.

Водозабірну споруду за надійністю можна віднести до I категорії згідно із [24, п.8.4, табл.8]. Згідно із [24, табл.11] умови забору води можна характеризувати як легкі, враховуючи каламутність 140 мг/л (що  $\leq 500$  мг/л), товщину криги  $\leq 0.8$  ( $h_{xp} = 0,7 \text{ м}$ ).

### 3.1.2 Розрахунок елементів водозабірних споруд

#### Розрахунок оголовку

У руслі ріки в місці прийому води встановлюється оголовок - водоприймальна споруда, від якої вода по самопливним водоводам надходить у береговий колодязь.

Приймається бетонний оголовок у металевому кожусі. Оголовок обладнаний ґратами, сумарна площа яких визначається по формулі:

$$\Omega_{cp} = 1,25 \times q_p \times K_{cm} / V_{BT}, \quad (3.3)$$

де  $q_p$  – розрахункова витрата оголовку,  $q_p = 0,814 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$V_{BT}$  – швидкість втікання води у водоприймальні отвори [24, п.5.95], м/с;

$K_{cm}$  – коефіцієнт, що враховує стиснення отворів стержнями ґрат:

$$K_{cm} = (a_{cm} + c_{cm}) / a_{cm}, \quad (3.4)$$

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

$c_{cm}$  – товщина стержнів, мм.

$$K_{cm} = (100 + 12) / 100 = 1,12,$$

$$\Omega_{cp} = 1,25 \times 0,814 \times 1,12 / 0,2 = 5,7 \text{ м}^2.$$

Приймаються 4 стандартні ґрати розміром 1200×1400. Площа вікна однієї ґрати – 1,68 м<sup>2</sup>.

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

$$H_{min} = 2,0 + 0,5h_p + 0,5h_v + 0,8, \quad (3.5)$$

де  $h_p$  – висота прийнятих ґрат, м;

$h_v$  – висота хвилі, м.

$$H_{min} = 2,0 + 0,5 \times 1,52 + 0,5 \times 0,5 + 0,8 = 3,81 \text{ м.}$$

Оголовок встановлюється на глибині 4.1 м.

### Розрахунок самопливних ліній

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

$$H_{\kappa} = 0,5 \times h_{\text{г}} + 0,5, \quad (3.6)$$

$$H_{\kappa} = 0,5 \times 0,5 + 0,5 = 0,75 \text{ м}.$$

Береговий колодязь встановлюється на позначці 65,0 м, що на 1 м вище рівня верхніх вод, тоді довжина самопливних ліній становить  $l = 100 \text{ м}$ . До розрахунку приймаються дві самопливні лінії (обидві робочі), витрата однієї дорівнює:

$$q = 0.814/2 = 0.41 \text{ м}^3/\text{с}$$

З огляду на швидкості, що рекомендовані [24,табл.14], приймаються самопливні лінії  $D=600 \text{ мм}$ ,  $v=1,38 \text{ м/с}$ ,  $1000i=3,8$ .

Незамулюваність самопливних ліній перевіряється за формулою:

$$\rho \leq 0,11 \left(1 - \frac{\sigma_{\text{сер}}}{u_1}\right)^{4,3} V_{\text{сер}}^3 (g \times \sigma_{\text{сер}} D), \quad (3.7)$$

де  $\rho$  – мутність води водойми,  $\text{кг/м}^3$ ;

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

$V_{\text{сер}}$  – середня швидкість руху води в трубопроводі.  $\text{м/с}$ ;

$D$  – діаметр самопливної лінії,  $\text{мм}$ ;

$u_1$  – швидкість, яка визначається за формулою:

$$u_1 = \sqrt{g} \times V_{\text{сер}} / C, \quad (3.8)$$

де  $C$  – коефіцієнт Шезі:

$$C = (D/4)^{4,3} / n, \quad (3.9)$$

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

$$C = (600/4)^{4,3} / 0.014 = 0.02,$$

$$u_1 = \sqrt{9.81} \times 1.38 / 0.02 = 216.1.$$

Тоді

$$\rho \leq 0,11 \cdot \left(1 - \frac{0,1}{216,1}\right)^{4,3} \cdot 1,38^3 / (9,81 \times 0,1 \times 0,6) = 0,49,$$

$0,14 \leq 0,49$ , тобто у самопливних лініях розрахункова швидкість при нормальній роботі забезпечує їх незамулюваність.

Повні втрати напору у самопливних лініях визначаються за формулою:

$$h = i \times L + \left(\sum \xi \times V_s^2 / 2g\right), \quad (3.10)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору;

$L$  – довжина самопливної лінії, м;

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

$$h = 0,0038 \times 100 + (1,1 \times 1,38^2 / 2 \times 9,81) = 0,5 \text{ м.}$$

Розрахунок сіток

Розрахунок сіток ведеться аналогічно розрахунку ґрат оголовка. Сумарна площа сіток визначається за формулою ( 2.151 ). При цьому швидкість руху води в отворах сітки приймається не більше 1 м/с. Коефіцієнт стиснення визначається за формулою:

$$K_{cm} = \left[ (a_{cm} + c_{cm}) / c_{cm} \right]^2, \quad (3.11)$$

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

Загальна площа сіток визначається за формулою:

$$\Omega_{\text{сіток}} = 1,25 \times 0,814 \times 2,56 / 0,25 = 10,4 \text{ м}^2.$$

До установки приймається 4 плоскі сітки площею 3,0 м<sup>2</sup> кожна з розмірами в плані 1500×2000 мм.

### 3.1.3 Розрахунок основного та допоміжного обладнання насосної станції

Водозабірна споруда, суміщена з насосною станцією I-го підйому.

Розрахункова витрата напірного водоводу становить:

$$Q_{\text{н.в.}} = Q_{\text{макс.н.ст.}} / n_{\text{н.в.}},$$

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

$$Q_{\text{н.в.}} = 0,814 / 2 = 0,41 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

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

$$D=500 \text{ мм}; V=1.96 \text{ м/с}; 1000i=9,72.$$

Втрати напору в напірному водоводі:

$$h_{н.с.} = 1,1 \times i \times L = 1.1 \times 0.00972 \times 600 = 6.4 \text{ м.}$$

Розрахункова витрата всмоктувального водоводу:

$$Q_{с.с.} = 0,814/2 = 0,41 \text{ м}^3/\text{с.}$$

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

$$D=600 \text{ мм}; V=1.38 \text{ м/с}; 1000i=3,8.$$

Необхідний напір насосів складе:

$$H = H_{ст.} + h_{в.в.} + h_{н.с.} + h_{в.д.м.} + h_{н.в.} + h_{вил.} \quad (3.12)$$

де  $H_{ст.}$  – статичний напір, тобто різниця позначок рівнів води у змішувачі та біля всмоктувальних водоводів у приймальному відділенні берегового колодязя,  $H_{ст.} = 15,3$  м;

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

$h_{в.д.м.}$  – втрати напору у водомірі,  $h_{в.д.м.} = 1,5$  м;

$h_{н.в.}$  – гідравлічні втрати у напірному водоводі,  $h_{н.в.} = 6,4$  м;

$h_{вил.}$  – запас напору на вилив,  $h_{вил.} = 0,5$  м.

$$H = 15.3 + 2 + 1.5 + 6.4 + 0.5 = 25.7 \text{ м.}$$

До установки приймаються насоси марки Д2000-34 (2 робочих та 2 резервних):

- витрата 420 л/с;

- напір 37,0 м;

- потужність насосу 180 кВт;

- частота обертання робочого колеса - 730 хв<sup>-1</sup>.

Для видалення дренажної води встановлюється насос ВКс 4/24, для видалення осаду із приймальних камер-насос СД-16/25.

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

### 3.1.4 Визначення розмірів водозабору

Визначення розмірів бергового колодязя по висоті починається з визначення позначок рівнів води у приймальному відділенні та у відділенні всмоктувальних труб. Позначка рівня води в приймальному відділенні визначена по формулі:

$$Z_{\epsilon.нр.} = Z_{PHB} - \sum h, \quad (3.13)$$

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

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

$$\sum h = 1.1 \times 0.00842 \times 100 = 0.93 \text{ м},$$

$$Z_{\epsilon.нр.} = 60.1 - 0.93 = 59.2 \text{ м}.$$

Позначка рівня води у відділенні всмоктувальних труб:

$$Z_{в.вс.} = Z_{в.нр.} - h_c, \quad (3.14)$$

де  $h_c$  – втрати напору в сітках,  $h_c = 0,1$  м

$$Z_{в.вс.} = 59.2 - 0,1 = 59.1 \text{ м}.$$

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

$$Z_{\partial.нр.сид.} = Z_{\epsilon.нр.} - Z_c - D_c - h_1, \quad (3.15)$$

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

$D_c$  – діаметр самопливних ліній, м;

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

$$Z_{\partial.нр.сид.} = 59.2 - 0,5 - 0,6 - 0,8 = 57.3 \text{ м}$$

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

$$Z_{\text{д.пр.від.}} = Z_{\text{в.пр.}} - H_c - 0.5, \quad (3.16)$$

де  $H_c$  – висота сітки, м

$$Z_{\text{д.пр.від.}} = 59.2 - 2.13 - 0.5 = 56.6 \text{ м}$$

Позначка дна відділення всмоктувальних труб при горизонтальному їх розташуванні:

$$Z_{\text{д.від.вс.}} = Z_{\text{в.вс.}} - 3.8D_{\text{вх}} = Z_{\text{в.вс.}} - 5.7D_{\text{вс}}, \quad (3.17)$$

де  $D_{\text{вс}}$  – діаметр всмоктувального трубопроводу, м

$$Z_{\text{д.від.вс.}} = 59.1 - 5.7 \times 0.6 = 55.7 \text{ м}$$

За розрахункову позначку дна берегового колодязя приймається 55,7 м, глибина колодязя  $65,0 - 55,7 = 9,3$  м.

### 3.1.5 Зони санітарної охорони водозабірної споруди

Для запобігання забрудненню та забезпечення населення якісною господарсько-питною водою створюються зони санітарної охорони джерел водопостачання та водозабірних споруд.

Перший пояс санітарної охорони поверхневого джерела включає в себе ділянку річки в місці забору води та територію, де розташовані водозабірні споруди. Ця територія обгороджена парканом та є зеленою зоною. Тут заборонені будівництво, скидання стічних вод, риболовля та використання отрутохімікатів. Акваторія першого поясу обмежена позначеннями.

Межі першого поясу зони санітарної охорони такі:

- уздовж течії вгору – не менше 200 м від водозабору;
- уздовж течії вниз – не менше 100 м від водозабору;
- вздовж берега, що прилягає до водозабору - не менше 100 м від лінії урізу води при найвищому її рівні;
- від берега в напрямку до водоймища – не менше 100 м.



Другий пояс санітарної охорони охоплює джерело водопостачання та басейн, з якого воно живиться. Це включає території і акваторії, які можуть впливати на якість води у джерелі. Межа другого поясу на річці уверх за течією визначається за формулою:

$$L_2 = v \times t, \quad (3.18)$$

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.

$$L_2 = 0,5 \times 3 \times 24 \times 3600 = 129600 \text{ м} \approx 129,6 \text{ км.}$$

Униз за течією - не менше 250 км, бокові межі- по водорозділу.

Межі третього поясу джерела приймаються уверх та униз за течією, або у всі сторони акваторії водойми такими ж, як і для другого поясу.

Контроль за зонами санітарної охорони поверхневих джерел водопостачання та водозабірних споруд здійснюється органами Державного санітарного нагляду.

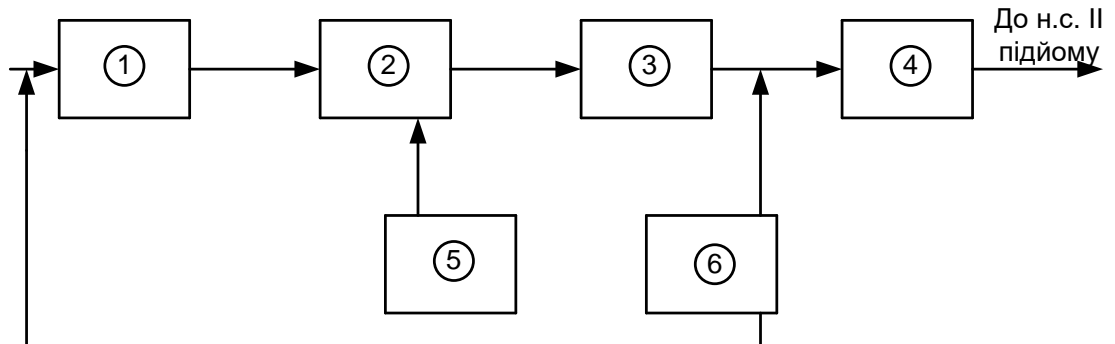
### 3.2 Вибір методу обробки води та визначення прогнозованих витрат

Відповідно до рекомендацій [24, табл.15] вибрано метод та схему обробки води з урахуванням якості води в джерелі водопостачання, призначення водопроводу, продуктивності станції та місцевих умов. Для господарсько-питного водопостачання на очисних спорудах, що використовують річкову воду, вода освітлюється, знебарвлюється, усуваються запахи та привкуси води.

Відповідно до основних показників якості вихідної води: вміст завислих речовин 140 мг/л, кольоровість 85 град і з огляду на необхідну продуктивність очисних споруд 70358,4 м<sup>3</sup>/доб, до розробки приймається схема з горизонтальними відстійниками та швидкими фільтрами (рис. 3.1),

метод обробки води - із застосуванням коагулянту. Продуктивність станції з урахуванням витрати води на власні потреби в кількості 4% становить:

$$Q = 70358.4 \times 1,04 = 73172.7 \text{ м}^3 / \text{доб} = 3048.9 \text{ м}^3 / \text{год} = 846.9 \text{ л/с}$$



1—змішувач; 2—горизонтальний відстійник з камерою пластівцеутворення; 3—швидкі фільтри; 4—резервуар чистої води; 5—реагентне господарство; 6—хлораторна установка

Рисунок 3.1— Принципова схема очисних споруд

### 3.3 Розробка технології реагентної обробки води

Дозу коагулянту,  $D_{к.}$ , мг/л, розраховуючи на  $Al(SO_4)_3$  по безводній речовині, допускається приймати при обробці мутних вод за табл. 16 [24]:

$$D_{к.} = 34 \text{ мг/л}$$

Доза коагулянту при обробці кольорових вод визначається за формулою:

$$D_{к.} = 4\sqrt{C} , \quad (3.19)$$

де  $C$  — кольоровість води, град.

$$D_{к.} = 4\sqrt{85} = 36.9 \text{ мг/л.}$$

При одночасному вмісті у воді завислих речовин і кольоровості приймається більша із доз -  $D_{к.} = 36,9$  мг/л.

### Визначення дози підлужнюючих реагентів

Дози підлужнюючих реагентів,  $D_{луж}$ , мг/л, необхідних для поліпшення процесу пластівцеутворення, визначаються за формулою:

$$D_{луж} = K_{луж} (D_k / e_k - Щ_0 + 1), \quad (3.20)$$

де  $D_k$  – максимальна в період підлужнення доза безводного коагулянту, мг/л;

$e_k$  – еквівалентна маса коагулянту, мг-екв/л;

$K_{луж}$  – коефіцієнт, прийнятий рівним для вапна (по CaO)-28;

$Щ_0$  – мінімальна лужність води, мг-екв/л.

$$D_{луж} = 28(36.9/57 - 3,4 + 1) = -49.1 \text{ мг/л.}$$

Отримане число зі знаком “-“ вказує на те, що підлужнення не потрібне.

### Визначення стабільності води після введення коагулянту

Перед визначенням стабільності води перераховуються всі концентрації йонів в одиниці міліграм-еквівалент на літр:

$$\text{Ca}^{2+} - 4,4 \text{ мг-екв/л}, \text{Mg}^{2+} - 2,0 \text{ мг-екв/л}, \text{Na}^+ + \text{K}^+ - \frac{18}{23} = 0,78 \text{ мг-екв/л}, \text{Cl}^- - 1,62$$

мг-екв/л,  $\text{SO}_4^{2-} - 2,23 \text{ мг-екв/л}$ .

$$\sum \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + (\text{Na}^+ + \text{K}^+) = \sum \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^{2-}$$

$$\text{HCO}_3^{2-} = 4,4 + 2,0 + 0,78 - 1,62 - 2,23 = 3,33 \text{ мг-екв/л}$$

$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 33 * 81 = 269,73 \text{ мг/л}$$

$$\text{CaSO}_4 = 1,07 * 68 = 72,76, \text{MgSO}_4 = 1,16 * 60,15 = 69,77 \text{ мг/л},$$

$$\text{Mg Cl}_2 = 0,84 * 47,65 = 40,03 \text{ мг/л}, \text{NaCl} = 0,78 * 58,5 = 45,63 \text{ мг/л}$$

Сума солей складає 495,5, що відповідає аналітично визначеному значенню.

Визначається вміст двоокису вуглецю у вихідній воді, мг/л:

$$CO_2 = \frac{44 \times Щ}{K_1 \times 10^{pH + \sqrt{\mu}}}, \quad (3.21)$$

де  $Щ$  – вихідна лужність, мг-екв/л;

$K_1$  – константа першого ступеня дисоціації вугільної кислоти,

$$\text{При } t^0=0^0\text{C} \quad K_1 = 2,61 \times 10^{-7}$$

$$\text{при } t^0=20^0\text{C} \quad K_1 = 4,05 \times 10^{-7}$$

$\mu$  – іонна сила розчину:

$$\mu = 0,000022P,$$

де  $P$  – солеміст, мг/л

$$\mu = 0,000022 \times 495.5 = 10,9 \times 10^{-3} \quad (3.22)$$

$$CO_2^{злм} = \frac{44 \times 3,4}{2,61 \times 10^{-7} \times 10^{7,8 + \sqrt{10,9 \times 10^{-3}}}} = 7.14 \text{ мг/л}$$

$$CO_2^{літ} = \frac{44 \times 3,4}{4,05 \times 10^{-7} \times 10^{7,8 + \sqrt{10,9 \times 10^{-3}}}} = 4.6 \text{ мг/л}$$

Концентрація у воді вільної вуглекислоти після коагуляції визначається за формулою:

$$(CO_2)_{віль} = CO_2 + 44 * D_k / e_k, \quad (3.23)$$

$$(CO_2)_{віль}^{злм} = 7.14 + 44 * 37/57 = 35.7 \text{ мг/л}$$

$$(CO_2)_{віль}^{літ} = 4.6 + 44 * 37/57 = 33.2 \text{ мг/л}$$

Лужність води після коагуляції дорівнює:

$$Щ_k = Щ_0 - D_k / e_k, \quad (3.24)$$

$$Щ_k = 3,4 - 37/57 = 2,75 \text{ мг – екв/л}$$

За номограмою рис.2 додатку 5 [24] визначається  $pH_0$  - водневий показник після введення у воду коагулянту при  $pH=7,8$ , солемісті  $P=0,49$  мг/л, лужності  $Щ=2,75$  мг-екв/л:

$$pH_0^{elim} = 7.0; pH_0^{elim} = 7.3.$$

По номограмі рис.1 додаток 5 [24] визначається  $pH_s$  - водневий показник в умовах насичення води карбонатом кальцію при  $pH=7,8$ , солемісті  $P=0,49$  мг/л, лужності  $Щ=2,75$  мг-екв/л, вмісті кальцію  $Ca^{2+}=88$  мг/л:

$$pH_s^{elim} = 7.43; pH_s^{elim} = 7.8$$

Визначається індекс насичення карбонатом кальцію:

$$J = pH_0 - pH_s, \quad (3.25)$$

$$J_{elim} = 7,0 - 7,43 = -0,43$$

$$J_{elim} = 7.3 - 7.8 = -0.5$$

Одержані значення індексу насичення мають знак “-“ , тобто для одержання стабільної води необхідна її обробка лужними реагентами.

Передбачається обробка води вапном. Доза вапна визначається за формулою:

$$D_v = 28\beta_{вих}K_tЩ, \quad (3.26)$$

де  $\beta_{вих}$ —коефіцієнт, що визначається за номограмою рис.4, дод.5 [24];

$K_t$ —коефіцієнт, що залежить від температури води: при  $t=20^{\circ}C$   $K_t = 1$ ;

$Щ$  —лужність води до стабілізаційної обробки, мг-екв/л.

$$D_v = 28 \times 0,035 \times 1 \times 2,75 = 2.7 \text{ мг/л.}$$

### 3.4 Розрахунок обладнання для реагентного господарства

#### Розрахунок ємностей коагулянту

Добова потреба в технічному коагулянті:

$$G_{\text{доб}} = \frac{D_k \times Q}{10000 \times \rho_k}, \quad (3.27)$$

де  $D_k$  – розрахункова доза коагулянту, мг/л;

$Q$  – розрахункова добова продуктивність станції, м<sup>3</sup>/доб;

$\rho_k$  – відсотковий вміст чистої безводної речовини в технічному продукті, для очищеного коагулянту  $\rho_k = 33.5\%$ .

$$G_{\text{доб}} = \frac{37 \times 73172}{10000 \times 33.5} = 8.1 \text{ т/доб.}$$

Місячна потреба в технічному коагулянті:

$$G_{\text{міс}} = G_{\text{доб}} \times 30,$$

$$G_{\text{міс}} = 8.1 \times 30 = 243 \text{ т.}$$

Приймається мокре зберігання коагулянту. В розчинні баки коагулянт завантажується самоскидами. В баках готується 15%-вий розчин, який перемішується стисненим повітрям за допомогою повітродувки. Потім розчин коагулянту насосами подається по трубопроводах у резервуари-сховища, де зберігається на протязі 15 діб. Звідси 15%-вий розчин коагулянту перекачується у витратні баки, де розбавляється водою до 5%-ї концентрації. Перемішування здійснюється повітродувками. З витратних баків 5%-ий розчин подається у змішувачі.

Ємність розчинних баків визначається за формулою:

$$W_{\text{розч}} = \frac{D_k \times Q_{\text{год}} \times n_k}{10 \times b_p \times \rho_k} \quad (3.28)$$

де  $Q_{\text{год}}$  – годинна продуктивність очисних споруд, м<sup>3</sup>/год;

$n_k$  – час, на який заготовлюється розчин коагулянту, год;

$b_p$  – концентрація робочого розчину коагулянту, %;

$\rho_k$  – густина розчину коагулянту, кг/м<sup>3</sup>.

$$W_{\text{розч}} = \frac{37 \times 3048.9 \times 12}{10 \times 15 \times 1000} = 9.02 \text{ м}^3.$$

Встановлюються три баки повною ємністю 3,4 м<sup>3</sup> кожний. Розміри баку у плані – 1,5 × 1,5 × 1,5 (при висоті шару розчину – 1,3 м).

Ємність витратних баків:

$$W_{\text{вирп}} = \frac{W_{\text{розч}} \times b_p}{b}, \quad (3.29)$$

де  $b$  – концентрація розчину коагулянту у витратному баці, %.

$$W_{\text{вирп}} = \frac{9.02 \times 15}{5} = 27.1 \text{ м}^3.$$

Встановлюються два витратних баки ємністю 14,4 м<sup>3</sup> кожний. Розміри в плані 2,4×2,4×2,5 м<sup>3</sup> (при висоті шару розчину – 2,35 м).

Необхідний 15-ти добовий запас розчину коагулянту зберігається в резервуарах-сховищах:

$$W_{\text{сх}} = \frac{D_k \times Q \times 15}{10 \times b_p \times \rho_k}, \quad (3.30)$$

$$W_{\text{сх}} = \frac{37 \times 73172 \times 15}{10 \times 15 \times 1000} = 270.7 \text{ м}^3$$

На станції водопідготовки встановлюються три резервуари-сховища об'ємом 97,5 м<sup>3</sup> кожний з розмірами в плані – 5×5×3,9 м<sup>3</sup> (при висоті шару розчину – 3,6 м).

#### Розрахунок повітродувок

Для інтенсифікації процесів розчинення коагулянту та перемішування розчину передбачається подача стисненого повітря.

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в бак, визначається за формулою:

$$Q_{\text{инк}} = 0,06 \times i_{\text{ин}} \times F_{\text{ин}}, \quad (3.31)$$

де  $i_{\text{ин}}$  – інтенсивність подачі повітря для розчинення, л/(с×м<sup>2</sup>), [24,п.6.23];

$F_{\text{ин}}$  – площа відповідних баків у плані, м<sup>2</sup>.

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в розчинні баки:

$$Q_{\text{1нк}} = 0,06 \times 10 \times (1.5 \times 1.5 \times 3) = 4.05 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в баки-сховища:

$$Q_{2нк} = 0,06 \times 3 \times (5 \times 5 \times 3) = 13,5 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається у витратні баки:

$$Q_{3нк} = 0,06 \times 5 \times (2,4 \times 2,4 \times 2) = 3,5 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Загальна витрата стисненого повітря:

$$Q_{нк} = Q_{1нк} + Q_{2нк} + Q_{3нк},$$

$$Q_{нк} = 4,05 + 13,5 + 3,5 = 21,05 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

На станції встановлюється 3 повітродувки (2 робочих, 1 резервна) марки ВК-12 продуктивністю 12 м<sup>3</sup>/хв кожна з електродвигунами типу А72-4 потужністю 28 кВт і частотою обертання 1450 об/хв.

#### Дозуючі пристрої

Для дозування розчину коагулянту приймаються насоси – дозатори марки НД. Годинна продуктивність насоса-дозатора:

$$Q_{н.д.} = \frac{W_{\text{витр}} \times 1000}{n_k}, \quad (3.32)$$

де  $W_{\text{витр}}$  – корисний об'єм витратного баку, м<sup>3</sup>;

$n_k$  – час приготування розчину коагулянту, год.

$$Q_{н.д.} = \frac{13,5 \times 1000}{12} = 1125 \text{ л/год}.$$

До установки приймаються 3 насоси (два робочих та один резервний) марки НД 500/10 з двигуном потужністю 3 кВт.

Розчин коагулянту забирається з верхнього рівня витратних баків за допомогою поплавців.



## Вапняне господарство

Визначається необхідний об'єм вапна, що містить 78% безводного продукту:

$$W = \frac{D_{\text{вап}} \times Q}{78 \times 10000}, \quad (3.33)$$

де  $D_{\text{вап}}$  – доза вапна, мг/л;

$Q$  – добова продуктивність станції, м<sup>3</sup>/доб.

$$W = \frac{2.7 \times 73172}{78 \times 10000} = 0,25 \text{ м} \text{ /доб.}$$

При висоті шару негашеного вапна – 1 м з урахуванням необхідних проходів та проїздів розміри складу в плані складуть 10\*10 м.

Для гасіння вапна передбачається апарат С-322 продуктивністю 1 т/год (розмір в плані 1,4×1,9×1,59м) з електродвигуном АО-5114 потужністю 4,5кВт. Після гасіння розчин подається в бак вапняного молока, обладнаний мішалкою, де концентрація вапна знижується до 5 %.

Ємність витратних баків:

$$W_{\text{ван}} = \frac{D_{\text{ван}} \times q \times n}{10000 \times b_{\text{ван}} \times \rho_{\text{ван}}}, \quad (3.34)$$

де  $Q$  –годинна продуктивність станції, м<sup>3</sup>/год;

$n$  – час, на який заготовлюється продукт, 6-12 год;

$b_{\text{ван}}$  – концентрація вапна, %;

$\rho_{\text{ван}}$  – густина розчину відповідної концентрації, т/м<sup>3</sup>

$$W_{\text{ван}} = \frac{2.7 \times 3048.9 \times 12}{10000 \times 5 \times 1} = 1.98 \text{ м}^3.$$

Приймається два баки ємністю  $W=1,0 \text{ м}^3$  кожний. Відношення діаметра  $D$  баку до його висоти  $H$  приймається рівним 1, тоді:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times W}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1}{3.14}} = 1,13 \text{ м} \quad (3.35)$$

Для дозування розчину вапна приймаються насоси-дозатори марки НД.  
Годинна продуктивність насоса-дозатора:

$$Q_{\text{н.д.}} = \frac{W_{\text{вап}} \times 1000}{n} \quad (3.36)$$

$$Q_{\text{н.д.}} = \frac{1.9 \times 1000}{12} = 158.3 \text{ л/год.}$$

До установки приймаються два насоси-дозатори марки НД 500/10 (один робочий та один резервний).

### 3.5 Визначення розрахункових параметрів змішувачів

У змішувачах здійснюється процес інтенсивного перемішування реагентів з водою. До розрахунку приймаються вертикальні змішувачі вихрового типу у кількості 4 шт.

Продуктивність одного змішувача визначається за формулою:

$$Q_{\text{зм}} = \frac{Q_{\text{доб}}}{24 \times n}, \quad (3.37)$$

де  $n$  – кількість змішувачів  $n=4$ .

$$Q_{\text{зм}} = \frac{76993.6}{24 \times 4} = 802 \text{ м}^3/\text{год} = 222.8 \text{ л/с} = 0.223 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа горизонтального перерізу в верхній частині змішувача,  $\text{м}^2$  визначається за формулою:

$$F_B = \frac{Q_{\text{зм}}}{V_B}, \quad (3.38)$$

де  $V_B$  – швидкість висхідного потоку в верхній частині,  $V_B = 30 \text{ мм/с} = 108 \text{ м/год}$  [24, п.10.5.6];

$$F_B = \frac{802}{108} = 7.43 \text{ м}^2.$$

Для квадратного змішувача в плані ширина у верхній частині,  $\text{м}$ :

$$b_B = \sqrt{F_B}; \quad (3.39)$$

$$b_B = \sqrt{7.43} = 2.7 \text{ м.}$$

Розміри нижньої частини змішувача прийняті з урахуванням діаметру трубопроводу, що підводить воду. Діаметр приймається за умови забезпечення швидкості руху 1,2-1,5 м/с [24, п.10.5.6]. Приймається трубопровід діаметром 450 мм при швидкості руху води 1,31 м/с.

Висота нижньої, пірамідальної частини змішувача визначається за формулою:

$$h_H = \frac{1}{2}(b_B - b_H) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3.40)$$

де  $b_H$  – ширина нижньої частини змішувача, м;

$\alpha$  – кут між стінками дна.

$$h_H = \frac{1}{2}(2,7 - 0,48) \operatorname{ctg} \frac{40}{2} = 3,05 \text{ м.}$$

Місткість пірамідальної частини змішувача,  $\text{м}^3$ :

$$W_H = \frac{1}{3} h_H (F_B + F_H + \sqrt{F_B \times F_H}) \quad (3.41)$$

$$W_H = \frac{1}{3} \times 3,05 [7,43 + (0,48)^2 + \sqrt{7,43 \times 0,48^2}] = 9,1 \text{ м}^3.$$

Повна ємність змішувача визначається за формулою:

$$W = \frac{Q_{зм} \times t}{60}, \quad (3.42)$$

де  $t$  – тривалість перебування води в змішувачі (1,5 хвилини), [24, п.10.5.6].

$$W = \frac{802 \times 1,5}{60} = 20,1 \text{ м}^3.$$

Місткість верхньої частини змішувача:

$$W_B = W - W_H.$$

$$W_B = 20,1 - 9,1 = 11,0 \text{ м}^3.$$

Висота верхньої частини змішувача визначена за формулою:

$$h_\varepsilon = \frac{11}{7,43} = 1,5 \text{ м.}$$

Висота верхньої частини відповідає рекомендаціям [24, п.10.5.6].

Повна висота змішувача:

$$h = h_B + h_H; \quad (3.43)$$

$$h = 1,5 + 2,98 = 4,5 \text{ м.}$$

Площа живого перетину водозбірного лотка:

$$w_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{зм}}}{v \times n}, \quad (3.44)$$

де  $v$  – швидкість руху води у лотку, [24, п.10.5.6];

$n$  – число водозбірних лотків.

$$w_{\text{л}} = \frac{802}{0,6 \times 2 \times 3600} = 0,19 \text{ м}^3$$

При ширині лотка 0,5 м розрахункова висота шару води в лотку:

$$h_{\text{л}} = \frac{w_{\text{л}}}{b_{\text{л}}}, \quad (3.45)$$

$$h_{\text{л}} = \frac{0,19}{0,5} = 0,38 \text{ м}$$

Ухил дна лотка приймається  $i=0,02$ . Площа всіх затоплених отворів в стінках збірних лотків:

$$F_o = \frac{Q}{v_o \times 3600} \quad (3.46)$$

де  $v_o$  – швидкість руху води через отвори, м/год.

$$F_o = \frac{802}{1 \times 3600} = 0,22 \text{ м}^2.$$

При діаметрі одного отвору рівному  $d_o=80$  мм, площа одного отвору:

$$f_o = \frac{\pi \times d_o^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,08^2}{4} = 0,00503 \text{ м}^2.$$

Загальна кількість отворів:

$$n = F_o / f_o = 0,22 / 0,00503 \approx 44 \text{ шт.}$$

Отвори розміщуються по бічній поверхні лотка на відстані  $h=110$  мм від верхньої кромки лотка до осі отворів. Зі збірного лотка вода надходить у бічний карман шириною 0,8 м.

### 3.6 Розробка споруд для відстоювання води

Загальна площа горизонтальних відстійників визначається за формулою [1, п. 10.9.1]:

$$F = \frac{q}{3.6 \cdot U_0} \cdot \alpha, \quad (3.47)$$

де  $q$  – розрахункова витрата води, м<sup>3</sup>/год;

$U_0$  – швидкість осадження зважених частинок, які затримуються відстійником, мм/с, [24, табл.16]; враховуючи збільшення швидкості осадження у зв'язку з наявністю вбудованої камери пластівцеутворення [24, табл.18, та п. 10.7.6], гідравлічна крупність буде дорівнювати  $0,45 + 0,45 \times 0,15 = 0,52$  мм/с;

$\alpha$  – коефіцієнт, який враховує вплив вертикальної складової швидкості потоку,  $\alpha = 1,3$  [24, п.10.9.1].

Для зимового періоду:

$$F_3 = \frac{2770.7}{3.6 \cdot 0,52} \cdot 1,3 = 1924.1 \text{ м}^2.$$

Для літнього періоду:

$$F_л = \frac{3208.1}{3.6 \cdot 0,52} \cdot 1,3 = 2227.8 \text{ м}^2.$$

Ширина горизонтального відстійника визначається за формулою:

$$B = \frac{q}{3.6 \times V_{cp} \times H_{cp} \times N}, \quad (3.48)$$

де  $V_{cp}$  – середня горизонтальна швидкість руху води у відстійнику,  $V_{cp} = 7$  мм/с [24, п. 10.9.2];

$H_{cp}$  – середня висота зони осадження, м; приймається  $H_{cp} = 3,0$  м [24, п. 10.9.2];

$N$  – розрахункова кількість відстійників, приймається  $N = 5$  шт.

$$B = \frac{3208.1}{3.6 \times 7 \times 3 \times 5} = 8,5 \text{ м}.$$

Ширина відстійника приймається 9 м.

Довжина відстійника визначається за формулою:

$$L = F / B \cdot N, \quad (3.49)$$

$$L = 2227.8 / (9 \cdot 5) \approx 49.5 \text{ м.}$$

Конструктивно приймаються розміри горизонтального відстійника:  $L = 50 \text{ м}$ ;  $B = 9 \text{ м}$ . Кожний відстійник поділяється на дві самостійно діючі секції шириною 4,5 м, загальна кількість секцій – 10 шт.

Осад з відстійника видаляється гідравлічним способом [24, п. 10.9.3]. Об'єм зони накопичення та ущільнення осаду визначається за формулою:

$$W_{ос.} = \frac{T_p \cdot q \cdot (C_{\epsilon} - M_{ос\epsilon})}{N \cdot \delta}, \quad (3.50)$$

де  $T_p$  – період роботи відстійника між скидами осаду, год; приймається  $T_p = 72$  год [24, табл. 17];

$C_{\epsilon}$  – концентрація завислих речовин у воді, що надходить до відстійника, г/м<sup>3</sup>;

$M_{ос\epsilon}$  – кількість завислих речовин у воді, що виходить з відстійника,  $M_{ос\epsilon} = 8$  г/м<sup>3</sup>;

$\delta$  – середня по всій висоті осаджувальної частини концентрація твердої фази осаду, г/м<sup>3</sup>; приймається з урахуванням каламутності води та тривалості інтервалів між скидами осаду  $\delta = 40000$  г/м<sup>3</sup> [24, табл.17].

Максимальна концентрація завислих речовин у воді, що надходить до горизонтальних відстійників, визначається за формулою:

$$C_{\epsilon} = M + K_k \cdot D_k + 0,25 \cdot Ц + B_{ван}, \quad (3.51)$$

де  $K_k$  – коефіцієнт, який враховує ступінь чистоти коагулянту, приймається  $K_k = 0,5$  [24, п.6.65];

$B_{ван}$  – кількість нерозчинених речовин, які вносяться з вапном [24]:

$$B_{\text{вап}} = \frac{D_{\epsilon}}{K_{\epsilon}} - D_{\epsilon}, \quad (3.52)$$

де  $K_{\epsilon}$  – вміст CaO у вапні, долі одиниці.

$$B_{\text{вап}} = \frac{1.9}{0.67} - 1.9 \approx 1.0 \text{ мг/л.}$$

$$C_{\epsilon} = 140 + 0.5 \cdot 35 + 0.25 \cdot 75 + 1.0 = 177.3 \text{ мг/л}$$

$$W_{\text{ос.}} = \frac{72 \cdot 3208.1 \cdot (177.3 - 8)}{8 \cdot 40000} = 122.2 \text{ м}^3$$

Максимальна висота відстійника визначається за формулою:

$$H_{\text{від}} = H_{\text{сп}} + H_{\text{н}} + h_{\text{буд}} + i \cdot L, \quad (3.53)$$

де  $H_{\text{н}}$  – висота зони накопичення осаду, м;

$h_{\text{буд}}$  – величина завищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води, м, приймається  $h_{\text{буд}} = 0.35 \text{ м}$  згідно із [24, п. 10.9.8];

$i$  – поздовжній ухил дна відстійника, приймається  $i = 0.005$  [24, п. 10.9.9].

Висота зони накопичення осаду визначається за формулою:

$$H_{\text{н}} = \frac{W_{\text{ос.ч.}}}{F_0}, \quad (3.54)$$

де  $F_0$  – площа одного відстійника,  $\text{м}^2$ .

Площа однієї секції відстійника складає:

$$F_0 = L \times B = 50 \times 4.5 = 225 \text{ м}^2,$$

$$H_{\text{н}} = \frac{122.2}{225} \approx 0.54 \text{ м,}$$

$$H_{\text{від}} = 3 + 0.54 + 0.35 + 0.005 \cdot 50 = 4.1 \text{ м.}$$

Середня глибина води у відстійнику:

$$H_{\text{вод}}^{\text{сп}} = H_{\text{сп}} + H_{\text{н}} + \frac{i \times L}{2}$$

$$H_{\text{вод}}^{\text{сп}} = 3.0 + 0.54 + \frac{0.005 \times 50}{2} = 3.7 \text{ м.}$$

Розрахунок системи видалення осаду

Кількість води, яка видаляється разом з осадом, у відсотках від загальної витрати %, визначена за формулою:

$$P = \frac{k_p \cdot W_{\text{ос.ч.}}}{q \cdot T_p} \cdot 100, \quad (3.55)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт розведення, приймається  $k_p = 1,5$  [24, п.10.9.9].

$$P = \frac{1.5 \cdot 122.2}{3208.1 \cdot 72} \cdot 100 = 0,079\%.$$

Для гідравлічного видалення осаду передбачається система з перфорованих труб з отворами діаметром  $d_0 = 25 \text{ мм}$ .

Дно відстійника між трубами системи збору осаду приймається призматичним з кутом нахилу граней  $45^\circ$ .

Кількість труб для видалення осаду з однієї секції відстійника визначається за формулою:

$$n_{\text{тр}} = V/l_{\text{тр}}, \quad (3.56)$$

де  $l_{\text{тр}}$  – відстань між вісями труб, м; приймається для призматичного днища  $l_{\text{тр}} = 3,0 \text{ м}$  [24, п. 10.9.19].

$$n_{\text{тр}} = 4,5/3 \approx 2 \text{ шт.}$$

Кількість осаду, що проходить через кожну трубу, визначається за формулою:

$$q_{\text{тр.ос.}} = \frac{W_{\text{ос.ч.}}}{n_{\text{тр}} \cdot t_{\text{сб}}} \quad (3.57)$$

де  $t_{\text{сб}}$  – час скиду осаду, год; приймається  $t_{\text{сб}} = 20 \text{ хв} = 0,33 \text{ год}$  [24].

$$q_{\text{тр.ос.}} = \frac{122.2}{2 \cdot 0,33} = 185.2 \text{ м}^3 / \text{год} \approx 51.4 \text{ л/с}$$

Для швидкості руху осаду у кінці труб не менше  $1,0 \text{ м/с}$  [24] приймається  $D_{\text{тр.ос.}} = 200 \text{ мм}$ ;  $v = 1,49 \text{ м/с}$ ;  $1000i = 18,1$ .

#### Розрахунок системи видалення освітленої води

Розподіл води по площі освітлення прийнято дірчастими трубами, що укладаються на відстані не більше ніж  $3 \text{ м}$  одна від одної [24, п. 10.10,6].



Довжина розподільчих труб визначається по формулі:

$$l = q_{\text{кол}} / q_{\text{пит}}, \quad (3.58)$$

де  $q_{\text{кол}}$  – витрата освітленої води у колекторі системи, л/с;

$q_{\text{пит}}$  – питома витрата освітленої води на 1 м дірчастих труб, л/с×м [24],  
приймається  $q_{\text{пит}} = 5,0$  л/с×м.

Витрата освітленої води в колекторі системи:

$$q_{\text{кол}} = q / (N_{\text{кол}} \cdot 3,6), \quad (3.59)$$

$$q_{\text{кол}} = 3208,1 / (10 \cdot 3,6) = 89,1 \text{ л/с.}$$

При швидкості води у кінці колектора 0,6...0,8 м/с [24, п.10.9.10]  
приймається  $D_{\text{тр.ос.}} = 400$  мм;  $v = 0,67$   $1000i = 1,65$ .

Довжина розподільчих труб визначається за формулою:

$$l_{\text{р.тр.}} = B - 2 \cdot l_{\text{ст}} - D_{\text{кол}}^{\text{вн}}, \quad (3.60)$$

де  $l_{\text{ст}}$  – відстань від кінця розподільчої труби до стіни відстійника, м;  
приймається  $l_{\text{ст}} = 0,1$  м [24].

$D_{\text{кол}}^{\text{вн}}$  – зовнішній діаметр колектора. приймається  $D_{\text{кол}}^{\text{вн}} = 426$  мм.

$$l_{\text{р.тр.}} = 4,5 - 2 \cdot 0,1 - 0,426 = 3,9 \text{ м.}$$

Приймається 5 розподільчих труб, які розташовуються по обидва боки  
від колектора.

Витрата однієї розподільчої труби визначається по формулі:

$$q_{\text{р.тр.}} = q_{\text{кол}} / (2 \cdot n_{\text{р.тр.}}), \quad (3.61)$$

$$q_{\text{р.тр.}} = 89,1 / 2 \cdot 5 = 8,9 \text{ л/с.}$$

При швидкості руху в розподільчих трубах 0,6...0,8 м/с [24]  
приймається  $D_{\text{тр.ос.}} = 125$  мм;  $v = 0,64$ ;  $1000i = 6,67$ .

Відстань між всіма розподільчих труб:

$$t_{\text{р.тр.}} = L_{\text{сист}} / n_{\text{р.тр.}}, \quad (3.62)$$

де  $L_{сист}$  – довжина ділянки, на якій розташована система видалення осаду, м.

Система видалення освітленої води розташовується на ділянці, що дорівнює  $2/3$  від довжини відстійника, тобто

$$L_{сист} = L/4,$$

$$L_{сист} = 50 \times \frac{2}{3} = 33 \text{ м}, \quad t_{p.тр.} = 33/4 = 8.3 \text{ м}$$

### 3.7 Розрахунок робочих та конструкційних параметрів камер пластівцеутворення

Для зручності компонування з відстійниками приймаються вбудовані типові камери пластівцеутворення у кількості 10 шт з розмірами однієї камери: ширина  $B_k=4,5$  м, довжина  $L_k=9,0$  м.

Витрата води для однієї камери пластівцеутворення:

$$q_k = q/N_k. \quad (3.63)$$

$$q_k = 3208.1/10 = 320.8 \text{ м}^3/\text{год} = 89.1 \text{ л/с} = 0,089 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Швидкість руху в одній камері пластівцеутворення визначається за формулою:

$$V_k = q_k / (B_k \times L_k \times 3600), \quad (3.64)$$

$$V_k = 320.8 / (4,5 \times 9 \times 3600) = 0.0022 \text{ м/с} = 2,2 \text{ мм/с}.$$

Висота води в камері

$$h_k = H_{cp} + h, \quad (3.65)$$

де  $H_{cp}$  – середня висота зони осадження горизонтального відстійника, м. приймається  $H_{cp} = 3.0 \text{ м}$  згідно із [24, п. 10.9.2];

$h$  – втрати напору у камері пластівцеутворення, м, приймаються  $h = 0,5 \text{ м}$  [24, п. 10.28.2];.

$$h_k = 3,0 + 0,5 = 3,5 \text{ м} \quad (3.66)$$

Тривалість перебування води у камері визначено за формулою::

$$t = h_k / (V_k \cdot 60) \quad (3.67)$$

$$t = 3.4 / (0.0022 \cdot 60) \approx 26 \text{ хв.}$$

Розподіл води по камері передбачається за допомогою напірних перфорованих труб з отворами, направленими униз під кутом  $45^\circ$  [24, п. 10.7.7].

Якщо швидкість руху води на початку камери прийняти  $0,5 \dots 0,6$  м/с згідно із [24, п. 10.7.7], то для витрати води  $q_k = 89.1 \text{ л/с}$  приймається діаметр трубопроводу для підводу води  $D_{\text{під}} = 450$  мм;  $v = 0,52$ ;  $1000i = 0,90$ .

Враховуючи, що в колекторі розподільчої системи вода розділяється на два потоки, витрата води в колекторі становить:

$$q_{\text{кол}} = q_k / 2,$$

$$q_{\text{кол}} = 89.1 / 2 = 44.6 \text{ л/с.}$$

Для колектору розподільчої системи приймається  $D_{\text{кол}} = 300$  мм;  $v = 0,58$ ;  $1000i = 1,85$ .

Кількість розподільчих труб:

$$n_{\text{тр}} = 4,5 / 2 \approx 3 \text{ шт}$$

Тоді витрата води для кожної розподільчої труби складе

$$89.1 / 3 = 29.7 \text{ л/с.}$$

Приймаються розподільчі труби діаметром  $D_{\text{тр}} = 250$  мм;  $v = 0,56$ ;  $1000i = 2,18$ .

Довжина розподільчої труби визначена за формулою:

$$l_{\text{тр}} = L_k - t_{\text{см}} - D_{\text{кол}}^{\text{вн}} \quad (3.68)$$

де  $t_{\text{см}}$  - відстань від розподільчої труби до стінки камери, м; приймається  $t_{\text{см}} = 1$  м [24];

$D_{кол}^{вн}$  – зовнішній діаметр колектору, м; приймається

$$D_{кол}^{вн} = 325 \text{ мм} = 0,325 \text{ м.}$$

$$l_{mp} = 9,0 - 1,0 - 0,325 = 7,68 \text{ м.}$$

Вода відводиться над затопленим водозливом з камери пластівцеутворення до горизонтального відстійнику. Верх стінки водозливу розташовується нижче рівню води на висоті:

$$h_{\epsilon} = q_k / (V_{\epsilon} B_k) \quad (3.69)$$

де  $V_{\epsilon}$  - швидкість руху води над водозливом, м/с; приймається  $V_{\epsilon} = 0,05 \text{ м/с}$  [24, п.10.7.8].

$$h_{\epsilon} = 0,0891 / (0,05 \cdot 4,5) = 0,4 \text{ м}$$

У відстійнику встановлюється перегородка, яка знаходиться під водою на відстані  $1/4$  від його висоти. За [24, п.10.7.8 ] швидкість руху води між стінкою та перегородкою прийнято  $0,03 \text{ м/с}$ .

Втрати напору у розподільчій системі визначені за формулою

$$h = \zeta \cdot \frac{v_{кол}^2}{2 \cdot g} + \frac{v_{mp}^2}{2 \cdot g}, \quad (3.70)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт гідравлічного опору.

Для колектору з відгалуженнями з круглими отворами коефіцієнт гідравлічного опору становить

$$\zeta = 2,2 / K_n^2 + 1 \quad (3.71)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт перфорації, приймається  $K_n = 0,3$ .

$$\zeta = 2,2 / 0,3^2 + 1 = 25,4$$

$$h = 25,4 \cdot \frac{0,58^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{0,56^2}{2 \cdot 9,81} = 0,45 \text{ м.}$$

Втрати напору, розраховані за формулою (3.70), не перевищують прийняті значення втрат напору за [24, п.10.28.2].

### 3.8 Розробка споруд для фільтрування води

До розрахунку приймається швидкий фільтр, який має двохшарове завантаження: верхній шар висотою 0,5 м складається із зерен подрібненого антрациту крупністю 0,8...1,8 мм, а нижній шар висотою 0,8 м- із зерен піску крупністю 0,5...1,2 мм. Вода надходить до фільтрів по жолобам, які розташовані над фільтруючим завантаженням.

#### Визначення розмірів фільтра

Загальна площа швидких фільтрів визначена за формулою [24, п.10.12.4]:

$$F_{\phi} = \frac{Q_{повн}}{T_{ст} \cdot v_n - n_{пр} \cdot q_{пр} - n_{пр} \cdot \tau_{пр} \cdot v_n}, \quad (3.72)$$

де  $Q_{повн}$  – корисна продуктивність станції, м<sup>3</sup>/доб,  $Q_{повн} = 74032,3$  м<sup>3</sup>/доб;

$T_{ст}$  – тривалість роботи станції на протязі доби, год,  $T_{ст} = 24$  год;

$v_n$  – розрахункова швидкість фільтрування, м/год,  $v_n = 10$  м/год [24, табл.19]

$n_{пр}$  – число промивок одного фільтра на добу при нормальному режимі експлуатації,  $n_{пр} = 2$ ;

$q_{пр}$  – питома витрата води на одну промивку одного фільтра, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;

$\tau_{пр}$  – час простою фільтра у зв'язку з промивкою, год, для фільтрів, що промиваються водою, приймається 0.33 год [24, табл.21].

Питома витрата води на одну промивку одного фільтра визначається за формулою:

$$q_{пр} = W \cdot t_{пр}, \quad (3.73)$$

де  $W$  – інтенсивність промивки, л/(с\*м<sup>2</sup>), приймається 16 л/(с\*м<sup>2</sup>) [24, табл.21];

$t_{пр}$  – тривалість промивки, с, приймається  $t_{пр} = 6хв = 0,1$  год = 360 с [24,табл.23].

$$q_{np} = 16 \cdot 360 / 1000 = 5,76 \text{ м}^3 / \text{м}^2$$

$$F_{\phi} = \frac{74032.3}{24 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 5.76 \cdot 2 \cdot 0.33 \cdot 9} = 372.9 \text{ м}^2$$

Кількість фільтрів визначено за формулою:

$$N = 0.5 \sqrt{F_{\phi}}, \quad (3.74)$$

$$N = 0.5 \sqrt{372.9} = 0,5 \sqrt{372.9} \approx 10 \text{ шт}$$

Перевірку швидкості фільтрування для форсованого режиму виконано за формулою:

$$v_{\phi} = v_n \cdot \frac{N}{N - N_1}, \quad (3.75)$$

де  $N_1$  – кількість фільтрів, що ремонтуються, приймається  $N_1=1$  [24, п.10.12.1].

$$v_{\phi} = 9 \cdot \frac{10}{10-1} = 10 \text{ м/год}.$$

Швидкість фільтрування при форсованому режиму не повинна перевищувати 12 м/год згідно із [24, табл.19]. Отримане значення швидкості задовольняє цій вимозі.

Площа чарунки фільтра визначена за формулою:

$$F_{\phi} = F_{\phi} / N, \quad (3.76)$$

$$F_{\phi} = 372.9 / 10 \approx 37.3 \text{ м}^2.$$

Приймаються наступні розміри чарунки швидкого фільтру у плані: довжина  $L=6,2$  м, ширина  $B=6,2$  м.

Нижня частина фільтру на висоту 0,8 м завантажується підтримуючим шаром гравію із зернами крупністю 10...20 мм [24, табл.22]. Загальна висота всього завантаження фільтру складає  $0,5+0,8+0,8=2,1$  м. Висота шару води

над поверхнею завантаження приймається 2,0 м, перевищення будівельної висоти над рівнем води 0,5 м [24, п.10.12.7].

### Розрахунок розподільчої системи фільтра

Для промивки фільтрів подається вода з РЧВ, яка надходить знизу фільтруючого завантаження: промивна вода під тиском подається до дренажного улаштування, а з нього через розподільчу систему фільтра надходить до фільтруючого завантаження.

Для промивки однієї чарунки фільтру необхідна витрата води:

$$q_{пром} = F_{\phi} \cdot W_{пр}, \quad (3.77)$$

$$q_{пром} = 38,44 \cdot 16 = 615 \text{ л/с.}$$

Відповідно до [24, п.10.12.12] під час промивки фільтрів рекомендується швидкість руху води на початку колектора розподільчої системи 0,8...1,2 м/с. Для колектора розподільчої системи приймається трубопровід, що відводить промивну воду діаметром  $D_{кол}=800$  мм; при цьому  $v=1,23$ ;  $1000i=2,16$ .

Площа чарунки, що відповідає одному відгалуженню, визначається за формулою:

$$f_{б.в.} = \left( \frac{B - D_{кол}^{зоб}}{2} \right) l_{ос}, \quad (3.78)$$

де  $l_{ос}$ —відстань між вісями труб відгалужень, м; приймається  $l_{ос}=300\text{мм}=0,3$  м [24, п.10.12.11];

$D_{кол}^{зоб}$ —зовнішній діаметр колектора, м; приймається  $D_{кол}^{зоб}=820$  мм=0,82м.

$$f_{б.в.} = \left( \frac{6,2 - 0,82}{2} \right) 0,3 = 0,81\text{м}^2.$$

Витрата промивної води, що надходить через одне бокове відгалуження визначається за формулою:

$$q_{б.в.} = f_{б.в.} \cdot W, \quad (3.79)$$

$$q_{б.в.} = 0,78 \cdot 16 = 13\text{л/с.}$$

Враховуючи, що швидкість руху води в трубах відгалужень відповідно до [24, п.10.12.12] рекомендується підтримувати в межах 1,6...2,0 м/с, для улаштування відгалужень приймається трубопровід діаметром  $D_{кол}=80$  мм;  $v=1,83$ ;  $1000i=76,8$ .

В нижній частині відгалужень під кутом  $45^0$  до вертикалі виконуються отвори діаметром  $d_0=10$  мм=0.01 м. Відповідно до [24, п.10.12.11] загальна площа всіх отворів у відгалуженнях розподільчої системи повинна складати 0,25...0,5% від робочої площі фільтра.

Площа всіх отворів у відгалуженнях визначається по формулі:

$$F_0 = 0.25 \cdot F_{чар} / 100, \quad (3.80)$$

$$F_0 = 0.25 \cdot 38.4 / 100 = 0,096 м^2.$$

Площа одного отвору:

$$f_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4,$$

$$f_0 = 3.14 \cdot 0.01^2 / 4 = 0.00008 м^2.$$

Кількість отворів у розподільчій системі одного фільтра:

$$n_0 = F_0 / f_0, \quad (3.81)$$

$$n_0 = 0.096 / 0.00008 = 1200 шт.$$

Довжина одного відгалуження:

$$l = \left( \frac{B - D_{кол}^{зоб}}{2} \right) \quad (3.82)$$

$$l = \left( \frac{6.2 - 0.82}{2} \right) = 2,7 м$$

Кількість відгалужень на кожному фільтрі становить:

$$n_{б.в.} = \frac{L}{t_{б.в.}} \cdot 2, \quad (3.83)$$

де  $L$ —довжина швидкого фільтра, м;

$t_{б.в.}$ — крок вісі відгалужень, м; приймається  $t_{б.в.}=0,3$  м.

$$n_{б.в.} = \frac{6.2}{0.3} \cdot 2 = 41 шт.$$

Розрахунок улаштувань для збору та відведення води після промивки швидких фільтрів



Промивна вода збирається та відводиться за допомогою жолобів з п'ятикутним перетином, які влаштовані над поверхнею фільтруючого завантаження. Відстань між вісями жолобів  $t_{жс}=2$  м [24, п.10.12.17], відстань від вісі крайніх жолобів до стінки – 1 м, витрата води на один жолоб становить  $Q_{жс}=615/3=205$ л/с.

Ширина жолоба визначається по формулі:

$$B_{жс} = k_{жс} \sqrt[5]{\frac{q_{жс}^2}{(1,57 + a_{жс})^3}}, \quad (3.84)$$

де  $Q_{жс}$  – витрата води по жолобу,  $м^3 / с$ ;

$a_{жс}$  – відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини, приймається  $a_{жс}=1,5$  м [24, п.10.12.17];

$k_{жс}$  – коефіцієнт, що приймається для п'ятикутних жолобів  $k_{жс}=2,1$  [24, п.10.12.17].

Кількість жолобів:

$$n = B / t_{жс}, \quad (3.85)$$

де  $t_{жс}$  – відстань між вісями жолобів,  $t_{жс}=2$  м.

$$n = 6.2 / 2 \approx 3шт/.$$

$$B_{жс} = 2,1 \sqrt[5]{\frac{0,205^2}{(1,57+1,5)^3}} = 0,57м/$$

Висота прямокутної частини жолоба:

$$h_{пр} = 0,75 \cdot B_{жс} \quad (3.86)$$

$$h_{пр} = 0,75 \cdot 0,57 = 0,43м/$$

Корисна висота жолобу:

$$h = 1.25 \cdot B_{жс} \quad (3.87)$$

$$h = 1.25 \cdot 0,57 = 0,71м/$$

Відстань від поверхні фільтруючого завантаження до кромки жолобів визначається за формулою:

$$H_{жс} = \frac{H_3 \cdot a_3}{100} + 0,3 \quad (3.88)$$

де  $H_3$  – висота завантаження (фільтруючого шару), м; приймається  $0,5 + 0,8 = 1,3$  м [24, табл.19];

$a_3$  – відносне розширення фільтруючого завантаження, %; приймається  $a_3 = 50\%$  [24, табл.21].

$$H_{жс} = \frac{1,3 \cdot 50}{100} + 0,3 = 0,95 \text{ м}.$$

Витрата води на промивку одного фільтра у відсотках % по відношенню до розрахункової витрати фільтрату визначено за формулою:

$$P_{ср} = \frac{W_{пром} \cdot N}{q \cdot T} \cdot 100, \quad (3.89)$$

де  $W_{пром}$  – кількість води, що витрачається на одну промивку,  $\text{м}^3$  ;

$q$  – розрахункова витрата,  $\text{м}^3 / \text{год}$  ;

$T$  – тривалість промивки, год.

Кількість води, що витрачається на одну промивку:

$$W_{пром} = \frac{q_{пром} \cdot t_{пр} \cdot 60}{1000}, \quad (3.90)$$

$$W_{пром} = \frac{615 \cdot 6 \cdot 60}{1000} = 221,4 \text{ м}^3.$$

Тривалість роботи фільтру між промивками:

$$T = \frac{T_{ст}}{n_{пр}} - (t_{пр} + \tau_{пр}), \quad (3.91)$$

де  $T_{ст}$  – тривалість роботи станції, год,  $T_{ст} = 24$  год.

$$T = \frac{24}{2} - (0,1 + 0,33) = 11,57 \text{ год},$$

$$P_{cp} = \frac{221,4 \times 10}{3208,1 \cdot 11,57} \cdot 100 \approx 6\%.$$

Розрахунок збірного каналу

Збірний канал на виході води із жолобів влаштовується для попередження створення підпору. З урахуванням того, що площа чарунки фільтра не перевищує  $40 \text{ м}^2$ , влаштовується боковий збірний канал. Відстань від дна жолоба до дна каналу повинна бути не меншою за величину, що визначається за формулою:

$$H_{кан} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{g \cdot B_{кан}^2}} + 0,2, \quad (3.92)$$

де  $Q_{кан}$  – витрата промивної води у збірному каналі,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$$Q_{кан} = Q_{пр} = 615 \text{ л/с} = 0,615 \text{ м}^3/\text{с};$$

$B_{кан}$  – ширина каналу, м; приймається  $B_{кан} = 0,8 \text{ м}$  [24, п.10.12.18].

$$H_{кан} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,615^2}{9,81 \cdot 0,8^2}} + 0,2 = 0,88 \text{ м}.$$

Площа поперечного перетину каналу становить:

$$F_{кан} = B_{кан} \cdot H_{кан}, \quad (3.93)$$

$$F_{кан} = 0,8 \cdot 0,88 = 0,704 \text{ м}^2.$$

Швидкість руху води у кінці каналу:

$$v_{кан} = q_{кан} / F_{кан} \quad (3.94)$$

$$v_{кан} = 0,615 / 0,704 = 0,87 \text{ м/с}.$$

Отримане значення  $v_{кан}$  відповідає рекомендаціям [24], згідно з якими мінімальна швидкість руху води у кінці збірного каналу повинна бути не меншою за  $0,8 \text{ м/с}$ .

Визначення втрат напору під час промивки:

$$\sum h = h + h_{ф} + h_{гр} + h_{дв} + h_{м} + h_{вс.дв.} + h_{вс.м.} \quad (3.95)$$

де  $h$  – втрати напору у розподільчій системі фільтру, м;

$h_{\phi}$  – втрати напору у фільтруючому шарі, м;

$h_{gp}$  – втрати напору у гравійному шарі, м;

$h_{\partial b}$  – втрати напору у трубопроводі, який підводить промивну воду до розподільчої системи фільтру, м;

$h_m$  – втрати напору на місцеві опори у фасонних частинах та арматурі, м;

$h_{вс.дв.}$  – втрати напору у всмоктувальній лінії по довжині, м;

$h_{вс.м.}$  – втрати напору на місцеві опори у всмоктувальній лінії, м.

Втрати напору у розподільчій системі фільтру:

$$h = \xi \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot g} + \frac{v_{б.в.}^2}{2 \cdot g}, \quad (3.96)$$

де  $v_k$  – швидкість руху води на початку колектора, м/с; прийнята  $v_k = 1,23$  м/с;

$v_{б.в.}$  – середня швидкість на вході у відгалуження, м/с; прийнята  $v_{б.в.} = 1,83$  м/с;

$\xi$  – коефіцієнт гідравлічного опору.

Коефіцієнт гідравлічного опору для колектора з відгалуженнями з круглими отворами визначається за формулою:

$$\xi = \frac{2,2}{K_n^2} + 1, \quad (3.97)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт перфорації,  $0,15 \leq K_n \leq 2$  [1, п.10.10.10].

Коефіцієнт перфорації визначається за формулою:

$$K_n = F_0 / S_0, \quad (3.98)$$

де  $F_0$  – сумарна площа отворів,  $m^2$ ;  $F_0 = 0,096 m^2$

$S_0$  – площа поперечного перетину колектора,  $m^2$ :

$$S_0 = \pi \cdot D_{кол}^2 / 4, \quad (3.99)$$

$$S_0 = 3,14 \cdot 0,8^2 / 4 = 0,5 m^2$$

$$K_n = 0,096 / 0,5 = 0,192$$

$$\xi = \frac{2,2}{0,192^2} + 1 = 60,7$$

$$h = 77,1 \cdot \frac{1,23^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{1,83^2}{2 \cdot 9,81} = 6,12 i$$

Втрати у фільтруючому шарі приймаються рівними товщині шару завантаження, тобто  $h_\phi = 1,3$  м.

Втрати напору у гравійному шарі визначаються за формулою:

$$h_{зр} = 0,022 \times h_{зр.ш.} \times W, \quad (3.100)$$

де  $h_{зр.ш.}$  – товщина гравійного шару, м; прийнята  $h_{зр.ш.} = 0,8$  м

$$h_{зр} = 0,022 \times 0,8 \times 16 = 0,28 м$$

Втрати напору у трубопроводі, що підводить промивну воду до розподільчої системи фільтру, визначається по формулі:

$$h_{дв} = i_{тр} \cdot l_{тр}. \quad (3.101)$$

де  $i_{тр}$  – питомі втрати напору, на один фільтр надходить витрата промивної води  $615 л/с$ ,  $d = 800 мм$ ;  $v = 1,13 м/с$ ,  $1000i = 2,09$ ];

$l_{тр}$  – довжина трубопроводу, по плану будівлі швидких фільтрів приймається 70 м.

$$h_{дв} = 0,00209 \times 70 = 0,15 м.$$

Втрати напору на місцеві опори у фасонних частинах та арматурі визначаються по формулі:

$$h_m = 0,3 \cdot h_{\text{дв}},$$

$$h_m = 0,3 \cdot 0,15 = 0,05 \text{ м.}$$

Втрати напору у всмоктувальній лінії визначаються по формулі:

$$h_{\text{вс.дв.}} = i_{\text{вс}} \cdot l_{\text{вс}},$$

де  $i_{\text{вс}}$  – питомі втрати у всмоктувальній лінії, м;

$l_{\text{вс}}$  – довжина всмоктувальної лінії, м;  $l_{\text{вс}} = 100$  м.

При  $Q_{\text{пр}} = 615$  л/с приймається діаметр всмоктувальної лінії  $D = 900$  мм;  $1000i = 1,16$ ;  $v = 0,96$  м/с.

$$h_{\text{вс.дв.}} = 0,00116 \cdot 100 = 0,116$$

Втрати напору на місцеві опори у всмоктувальній лінії:

$$h_{\text{вс.м.}} = \sum \xi_m \cdot \frac{v_{\text{вс}}^2}{2 \cdot g}, \quad (3.102)$$

де  $\xi_m$  – коефіцієнт місцевих опорів:

коліно 90:  $\xi_{m1} = 0,5$  – 1 шт; засувка:  $\xi_{m2} = 0,15$  – 1 шт; вхід у трубу:  $\xi_{m3} = 0,5$  – 1 шт;

переходи:  $\xi_{m4} = 0,2$  – 2 шт.

$$\sum \xi_m = \xi_{m1} \cdot 1 + \xi_{m2} \cdot 1 + \xi_{m3} \cdot 1 + \xi_{m4} \cdot 2 = 0,5 + 0,15 + 0,5 + 0,2 \cdot 2 = 1,55,$$

$$h_{\text{вс.м.}} = 1,55 \cdot \frac{0,96^2}{2 \cdot 9,81} = 0,073 \text{ м.}$$

$$\sum h = 6,12 + 1,3 + 0,28 + 0,15 + 0,05 + 0,1 + 0,07 = 8,1 \text{ м.}$$

Насоси для промивки швидких фільтрів

Необхідний напір насосу для промивки швидкого фільтру:

$$H_{\text{нас}} = h_{\Gamma} + \sum h + h_{\text{нас}}, \quad (3.103)$$

де  $h_r$  – геометрична висота підйому води від дна РЧВ до верхньої кромки жолобів у швидкому фільтрі, м;

$h_{\text{нас}}$  – втрати напору у насосній станції, м; прийняті  $h_{\text{нас}} = 1,5$  м.

Геометрична висота підйому визначається по формулі:

$$h_z = H_{\text{РЧВ}} + H_z + H_{\text{жс}}, \quad (3.104)$$

де  $H_{\text{РЧВ}}$  – глибина води в резервуарі чистої води, м; приймається  $H_{\text{РЧВ}} = 4,1$  м;

$H_z$  – висота фільтруючого шару, м; приймається  $H_z = 1,3$  м;

$H_{\text{жс}}$  – відстань від поверхні фільтруючого завантаження до кромки жолобів,

$H_{\text{жс}} = 0,95$  м.

$$h_z = 3.1 + 1.3 + 0.95 = 5.35 \text{ м},$$

$$H_{\text{нас}} = 5.35 + 8.1 + 1.5 \approx 15.0 \text{ м}.$$

Необхідна подача насосу становить  $Q_{\text{пр}} = 576 \text{ л/с} = 2214 \text{ м}^3 / \text{год}$ .  
Встановлюються промивні насоси Д2000-21 (1 робочий та 1 резервний).

#### Піськове господарство

Піськове господарство передбачається для здійснення підготовки кар'єрного піску для першого завантаження швидких фільтрів та для щорічного їх дозавантаження у розмірі 10% від загального об'єму піщаного фільтруючого матеріалу.

Об'єм піску, що завантажується у швидкі фільтри:

$$W_n = N \cdot F_{\text{чар}} \cdot h_n, \quad (3.105)$$

де  $h_n$  – висота фільтруючого шару піску, м;  $h_n = 0,8$  м [24, табл.21].

$$W_n = 10 \cdot 38.44 \cdot 0.8 = 307.5 \text{ м}^3.$$

Потреба у кар'єрній сировині перед пуском станції:

$$W_{\text{п}}' = W_{\text{п}} \cdot 100 / \gamma_n,$$

де  $\gamma_n$  – кількість піску у кар'єрній сировині, що може бути використана для завантаження фільтрів, %; приймається  $\gamma_n = 55\%$ .

$$W_i' = 307.5 \cdot 100 / 55 = 560.6 \text{ л}^3$$

Щорічна потреба у кар'єрній сировині для її дозавантаження у швидкі фільтри становить  $30,8 \text{ м}^3$ . Загальна кількість піску:  $560,6 + 30,8 = 591,4 \text{ м}^3$ . Для піску приймається асфальтований майданчик розміром  $23 * 23 \text{ м}$ , тобто площею  $529 \text{ м}^2$ . Для сортування та відмиву піску застосовуються класифікатори ТКП-4 продуктивністю  $5 \text{ м}^3 / \text{год}$  за вихідною сировиною. У фільтрувальному залі чистий відсортований пісок зберігається у залізобетонних ємностях.

### 3.9 Визначення діаметрів трубопроводів станції водо підготовки

Діаметри трубопроводів для надходження та відведення води між очисними спорудами прийняті із врахуванням рекомендацій [24]. Результати гідравлічного розрахунку трубопроводів представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1– Визначення діаметрів трубопроводів

| Найменування середовища в трубопроводі   | Д, мм       | Рекомендована швидкість, м/с | Фактичне значення швидкості, м/с |
|--|-------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1  | 2           | 3                            | 4                                |
| 1.Трубопровід надходження води на змішувачі ( $222,8 \times 4$ )<br>на один змішувач ( $222,8$ )     | 900<br>450  | 1,2-1,5                      | 1,42<br>1,31                     |
| 2.Відведення води:<br>від усіх змішувачів<br>від одного змішувача                                    | 1200<br>600 | 0,6...1,0                    | 0,87<br>0,765                    |
| 3.Подача води на відстійники:<br>загальний трубопровід<br>на один відстійник ( $91,2$ )              | 1400<br>450 | 0,5...0,6                    | 0,59<br>0,53                     |
| 4.Подача відстояної води:<br>на фільтри (загальний)<br>від одного відстійника                        | 1200<br>400 | 0,6...0,8                    | 0,87<br>0,68                     |
| 5.Трубопровід відведення осаду:<br>від одного відстійника ( $51,4 \times 2 \times 10$ )<br>загальний | 200<br>1000 | Не менше 1 м/с               | 1,49<br>1,29                     |



| 1   | 2                 | 3         | 4                    |
|---|-------------------|-----------|----------------------|
| 6. Трубопровід підведення води на освітлення:<br>Загальний $(74032,3 / (24 \times 3,6) = 856,8 \text{ л/с})$<br>на 5 фільтрів<br>$(74032,3 / (24 \times 2 \times 3,6) = 428,4 \text{ л/с})$<br>на один фільтр<br>$74032,3 / (24 \times 10 \times 3,6) = 85,7 \text{ л/с}$ | 900<br>700<br>300 | 1...1,5   | 1,33<br>1,10<br>1,12 |
| 7. Трубопровід відведення освітленої води: від одного фільтра<br>від 5 фільтрів   | 300<br>700        | 1...1,5   | 1,12<br>1,10         |
| 8. Трубопровід надходження промивної води (615 л/с)   | 800               | 0,8...1,2 | 1,13                 |
| 9. Відведення промивної води  | 800               | 0,8...1,2 | 1,13                 |

### 3.10 Розробка енергоощадної технології повторного використання промивних вод

#### 3.10.1 Визначення об'єму промивних вод

Питома витрата води на одну промивку одного фільтра складає:

$$q_{пр} = 16 \cdot 360 / 1000 = 5,76 \text{ м}^3 / \text{м}^2$$

Витрата води, що необхідна для промивки однієї чарунки:

$$q_{пром} = 38,44 \cdot 16 = 615 \text{ л/с} = 0,615 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Враховуючи, що тривалість однієї промивки фільтра 0,1 год=360с, а за добу кожний фільтр промивається 2 рази, то на промивку одного швидкого фільтра за добу витрачається:

$$2 \cdot 0,615 \cdot 360 = 442,8 \text{ м}^3.$$

#### 3.10.2 Розрахунок приймальних камер

Для очистки промивних вод з метою повторного їх використання передбачаються наступні споруди: приймальна камера; пісковловлювач; відстійник; згущувач; накопичувач.

У приймальну камеру надходять промивні води після швидких фільтрів. Типовий розмір камери прийнято з урахуванням пропускної здатності, кількості та діаметру трубопроводів [8].

Після промивки швидких фільтрів промивна вода у кількості  $q_{пром} = 615 \text{ л/с}$  надходить на станцію водопідготовки по двох трубопроводах діаметром 400 мм кожний. Встановлюється типова приймальна камера ПК-2-60, її розміри:  $1600 \times 2000 \times 1600$ .

### 3.10.3 Розрахунок пісковловлювачів.

З приймальної камери вода надходить на пісковловлювач. Приймається горизонтальний пісковловлювач з прямолінійним рухом води на два робочих відділення (одне відділення резервне). Площа живого перетину кожного відділення становить:

$$w = \frac{q}{V \cdot n}, \quad (3.106)$$

де  $q$  – витрата води, що надходить у пісковловлювач,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V$  – швидкість руху води,  $\text{м/с}$  [24];

$n$  – число відділень у пісковловлювачі.

$$w = \frac{4 \cdot 0,615}{0,3 \cdot 2} = 4,1 \text{ м}^2.$$

Глибина проточної частини приймається  $h = 0,7 \text{ м}$  [24]. Ширина відділення:

$$B = w/h = 4,1/0,7 = 5,6 \text{ м}.$$

Довжина пісковловлювача обчислюється за формулою:

$$L = \frac{k \cdot h \cdot V \cdot 1000}{U_o}, \quad (3.107)$$

де  $k$  – коефіцієнт, прийнятий за [24],  $k = 1,3$ ;

$U_o$  – гідравлічна крупність піску,  $\text{мм/с}$  по [9]  $U_o = 24,2 \text{ мм/с}$ .

$$L = \frac{1,3 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot 1000}{24,2} = 11,3 \text{ м}.$$

Приймається пісковловлювач довжиною 15 м.

Тривалість протікання промивної води в пісковловлювачі:

$$T = L/V = 15/0.3 = 50\text{с, що} \geq 30\text{с,}$$

що відповідає вимогам [24].

Геометрична глибина пісколовки приймається:

$$H_n = h_1 + h_n + 0.7 = 0.7 + 0.2 + 0.7 = 1.6\text{м}$$

Об'єм частини пісковловлювача для накопичення осаду:

$$W = V \cdot T, \quad (3.108)$$

де  $V$  – об'єм піску, що затримується пісковловлювачем за добу:

$$V = W_o / 365, \quad (3.109)$$

де  $W_o$  річне довантаження піску у швидкі фільтри,  $\text{м}^3/\text{рік}$ .

Річна потреба в додатковій кількості піску (10%-дозавантаження плюс аварійне перезавантаження одного фільтру):

$$W_o = 0.1 \cdot W_n \cdot + W_n / N, \quad (3.108)$$

де  $W_n$  – об'єм піску, що завантажується у швидкі фільтри,  $W_n = 307.5 \text{ м}^3/\text{доб}$ :

$$W_o = 0.1 \cdot 307.5 \cdot + 307.5/10 = 61.5\text{м}^3, V = 61.5/365 = 0.17\text{м}^3/\text{доб};$$

$T$  – період між чищеннями пісковловлювачів, приймається  $T = 2$  доби;

$$W = 0.17 \cdot 2 = 0.34\text{м}^3.$$

Висота частини пісковловлювача для приймання осаду:

$$h = \frac{W}{n \cdot B \cdot L} \quad (3.109)$$

$$h_{oc} = \frac{0.34}{2 \cdot 1.2 \cdot 15} = 0.010\text{м} = 10\text{см.}$$

#### 3.10.4 Розрахунок згущувачів

Об'єм згущувача визначається за формулою:

$$W_{зг} = 1.3 \cdot K_{p.o.} \cdot W_{oc.ч.}, \quad (3.110)$$

де  $K_{p.o.}$  – коефіцієнт розбавлення осаду,  $K_{p.o.} = 1,5$  [1, п. 10.9.9];

$W_{oc.ч.}$  – об'єм осаду,  $m^3$ .

Прийнято, що із загальної кількості промивної води 80% використовується повторно, а 20% скидається з осадом. Згідно [1, дод.13] число згущувачів приймається з урахуванням періодичного надходження осаду та тривалості циклу згущення. Тоді кількість відстояної води, що перекачується на повторну очистку становить:

$$Q_1 = q \cdot 0.8 = 615 \cdot 0.8 \approx 492 m^3.$$

Тривалість перекачування  $t_1 = 15 хв = 0,25 год$ .

Продуктивність насосів:

$$q_1 = Q_1 / t_1 = 492 / 0.25 = 1968 m^3 / год.$$

Приймаються 3 насоси (2 робочих та 1 резервний) марки Д1000-40.

Осад в об'ємі  $Q_2 = 615 \cdot 0.2 = 123 m^3$  подається у згущувач.

Тривалість перекачування  $t_2 = 20 хв = 0,33 год$ , тоді продуктивність насосу:

$$q_2 = Q_2 / t_2 = 123 / 0.33 = 372.7 m^3 / год.$$

Для перекачування осаду приймається три насоси марки СД 250/14 (2 робочих та 1 резервний) [24].

$$W_{зг} = 1.3 \cdot 1.5 \cdot (122.2 + 123) = 245.2 m^3.$$

Приймаються 2 згущувача діаметром 9,0 м; глибиною 3,9 м. Тривалість циклу згущення для вод середньої мутності становить 8 год, ухил дна до центрального приймка становить  $8^\circ$ , середня вологість згущеного осаду – 96,8-97,3 % [24, табл. 9.1].

### 3.10.5 Розрахунок накопичувачів

Згущений осад вивозиться до накопичувачів, які представляють собою сплановані майданчики на природній основі глибиною 2 м, майданчики обваловані ґрунтом. Розрахунковий період подачі осаду в накопичувачі приймається 5 років [24, Д. 17]. Об'єм накопичувача визначено за формулою:

$$W_{нак} = 0.876 \cdot q \cdot C_s \cdot [1/(100 - P_{oc1})\rho + 1/(100 - P_{oc2})\rho + \dots + 1/(100 - P_{ocn})\rho_n] \quad (3.112)$$

де  $q$  – розрахункова витрата станції водопідготовки, м<sup>3</sup>/год;

$P_{oc1}; P_{oc2} \dots P_{ocn}$  – відповідно середні значення вологості у відсотках першого, другого, ... n-го року ущільнення осаду [24, рис. Д.1];

$\rho_1; \rho_2 \dots \rho_n$  – густина осаду першого; другого, n-го року ущільнення, приймається за [1, рис. Д. 1];

$n$  – період подачі осаду в накопичувач, дорівнює 5 років;

$C_g$  – середньорічна концентрація завислих речовин у початковій воді, г/м<sup>3</sup>, визначається по формулі (3.112),  $C_g = 177.3$  мг/л:

$$W_{\text{нак}} = \frac{0,876 \times 3208,1 \times 177,3 \times 10^{-3}}{1/(100-84) \cdot 1,1 + 1/(100-78) \cdot 1,13 + 1/(100-75) \cdot 1,15 + 1/(100-74) \cdot 1,16 + 1/(100-72) \cdot 1,17} W_{\text{нак}} = 2529,3 \text{ м}^3$$

Приймається чотирьохсекційний накопичувач (об'єм секції 640 м<sup>3</sup>), розмір однієї секції у плані 20×20×1,6м.

### 3.11 Екологічне обґрунтування

З метою запобігання забруднення водоймища та для зменшення витрати води для власних потреб станції передбачаються споруди для очистки промивної води. Це дозволяє повторно використати очищену скидну воду після промивки швидких фільтрів.

Кількість забрудненої води після промивки фільтрів за рік становить:

$$Q_{\text{ш.ф.}} = W_{\text{пр.доб.}} \times 365 / 1000, \quad (3.113)$$

$W_{\text{пр.доб.}}$  – добовий об'єм води після промивки швидких фільтрів, м<sup>3</sup> (24.

п.2.3.1):  $W_{\text{пр.доб.}} = 615 \times 10 = 6150 \text{ м}^3 / \text{доб}$

$Q_{\text{ш.ф.}} = 6150 \times 365 / 1000 = 2244,8 \text{ тис. м}^3 / \text{доб.}$

Застосування споруд для повторного використання промивної води дозволяє запобігти скиданню коагулянта  $Al_2(SO_4)_3$  у водойму, у кількості

$$Q_{\text{коагул.}} = Q_{\text{ш.ф.}} \times D_k / 1000, \quad (3.114)$$

де  $D_k$  – доза коагулянту  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $D_k = 37 \text{ г/м}^3$ .

$$Q_{\text{коагул.}} = 2244800 \times 35 / 1000 = 78566.3 \text{ кг} \approx 78.6 \text{ т.}$$

При застосуванні вузла повторного використання промивної води значно скорочується витрата забруднених вод, які скидають у водойму, і забезпечується повернення води у виробництво на власні потреби станції водопідготовки, що дає значний економічний та екологічний ефект.

### 3.12 Розрахунок споруд для дезінфекції води

Знезараження води здійснюється хлорною водою перед змішувачами та перед РЧВ.

Розрахункова година витрата хлору для попереднього хлорування:

$$Q'_{\text{хл}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot D'_{\text{хл}}}{1000 \cdot 24}, \quad (3.115)$$

де  $D'_{\text{хл}}$  – доза хлору для попереднього хлорування, мг/л,  $D'_{\text{хл}} = 3 \text{ мг/л}$  [24, п. 10.18.7].

$$Q'_{\text{хл}} = \frac{76993.6 \cdot 3}{1000 \cdot 24} = 9.6 \text{ кг/год.}$$

Розрахункова година витрата для вторинного хлорування:

$$Q''_{\text{хл}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot D''_{\text{хл}}}{1000 \cdot 24}$$

де  $D''_{\text{хл}}$  – доза хлору для вторинного хлорування, мг/л,  $D''_{\text{хл}} = 1 \text{ мг/л}$  [24, п. 10.18.8].

$$Q'_{хл} = \frac{76993.6 \cdot 1}{1000 \cdot 24} = 3.21 \text{ кг/год}$$

В хлораторній встановлюються вакуумні хлоратори ЛОНІИ-100 продуктивністю 4,5 кг/год у кількості 4 шт (3 робочих та 1 резервний) для первинного хлорування та два хлоратора (1 робочий та 1 резервний) тієї ж продуктивності для вторинного хлорування.

Загальна витрата хлору становить:

$$Q_{хл} = Q'_{хл} + Q''_{хл}, \quad (3.116)$$

$$Q_{хл} = 9.6 + 3.2 = 12.8 \text{ кг/год}$$

Кількість витратних хлорних балонів:

$$n_{бал} = Q_{хл} / S_{бал}, \quad (3.117)$$

де  $S_{бал}$  – кількість хлору, який можна взяти з одного балону ємністю 40 л без штучного підігріву при температурі  $16^{\circ}\text{C}$ ; приймається  $S_{бал} = 0,7$  кг/год.

$$n_{бал} = 12.8 / 0,7 = 18.3 \approx 19 \text{ шт.}$$

Необхідна кількість діжок - випарювачів для хлору:

$$n_{діж} = Q_{хл} / (S_{діж} \cdot F_{діж}), \quad (3.118)$$

де  $S_{діж}$  – кількість хлору, який можна взяти з  $1 \text{ м}^2$  бокової поверхні однієї діжки приймається  $S_{діж} = 3,0$  кг/год;

$F_{діж}$  – площа зовнішньої поверхні діжки -випарювача,  $\text{м}^2$ , приймається  $F_{діж} = 4,7 \text{ м}^2$ .

$$n_{діж} = 12.8 / (3 \cdot 4,7) \approx 1 \text{ шт.}$$

Загальна необхідна кількість балонів за добу:

$$N_{бал} = n_{бал} \cdot 24,$$

$$N_{бал} = 19 \cdot 24 = 456 \text{ шт.}$$

Поряд з хлораторною передбачається приміщення, в якому зберігається 3-добовий запас балонів.

### 3.13 Розробка вертикальної схеми очисних споруд

По території станції водопідготовки вода рухається самопливом. Позначки рівнів води в очисних спорудах розраховуються відносно позначок рівню землі. Позначка води в резервуарах чистої води приймається на 0,5 метра вище позначки землі, тобто:

$$Z_{PЧВ} = 51.5 + 0.5 = 52.0\text{м.}$$

Величини втрат напору в очисних спорудах і комунікаціях приймаються згідно із [24, п.10.28.2].

Позначка води в швидких фільтрах:

$$Z_{ш.ф.} = Z_{PЧВ} + h_1, \quad (3.119)$$

де  $h_1$  – втрати напору в комунікаціях на шляху від швидких фільтрів до резервуарів чистої води, м;  $h_1=0,5$  м [24, п.10.28.2].

$$Z_{ш.ф.} = 52 + 0,5 = 52.5\text{м.}$$

Враховуючи рельєф місцевості, приймається  $Z_{ш.ф.} = 54,0$  м.

Позначка води в горизонтальних відстійниках:

$$Z_{г.в.} = Z_{ш.ф.} + h_2 + h_3 \quad (3.120)$$

де  $h_2$  – втрати напору у швидких фільтрах, м;  $h_2=3,0$  м [1, п.10.28.2];

$h_3$  – втрати напору в комунікаціях на шляху від швидких фільтрів до горизонтальних відстійників, м;  $h_3=0,5$  м [24, п.10.28.2].

$$Z_{г.в.} = 52.5 + 3,0 + 0,5 = 56.0\text{м.}$$

Позначка води у камерах пластівцеутворення:

$$Z_{к.п.} = Z_{г.в.} + h_4, \quad (3.121)$$



де  $h_4$  – втрати напору у горизонтальних відстійниках, м;  $h_4=0,7$  м [24, п.10.28.2].

$$Z_{к.п.} = 56 + 0,7 = 56,7 \text{ м.}$$

Позначка води у змішувачах:

$$Z_{з.м.} = Z_{к.п.} + h_5 + h_6, \quad (3.122)$$

де  $h_5$  – втрати напору у камерах пластівцеутворення, м;  $h_5=0,5$  м [24, п.10.28.2];

$h_3$  – втрати напору в комунікаціях на шляху від камер пластівцеутворення до змішувачів, м;  $h_1=0,4$  м [24, п.10.28.2].

$$Z_{з.м.} = 56,7 + 0,5 + 0,4 = 57,6 \text{ м.}$$

Враховуючи рельєф місцевості, приймається  $Z_{з.м.} = 60,0$  м.

Висотна схема наведена в графічній частині роботи.

### 3.14 Розробка насосної станції другого підйому

#### 3.14.1 Визначення розрахункової подачі насосної станції

Насосна станція працює у двоступеневому режимі. Година подача насосної станції для кожного ступеня визначається за формулою:

$$Q_{i \text{ н.ст}} = Q_{\text{доб}} \times P_i / 100, \quad (3.123)$$

де  $Q_{P_i}$  – подача  $i$ -го ступеня у відсотках від добової витрати  $i \text{ м}^3$  відповідно.

Для першого ступеня:

$$Q_1 = 74032,3 \times 2,8 / 100 = 2072,9 \text{ м}^3/\text{год} = 575,8 \text{ л/с};$$

для другого ступеня:

$$Q_2 = 74032,3 \times 4,6 / 100 = 3405,5 \text{ м}^3/\text{год} = 946 \text{ л/с}$$

Продуктивність першого ступеню забезпечується двома насосами, на другому ступеню працюють три паралельно підключені насоси.

Для цього випадку подача одного насосу приймається [24]:

$$Q_n = (0,55 - 0,6) \times Q_1, \quad (3.124)$$

$$Q_n = 0,55 \times 2072,9 = 1140,1 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

### 3.14.2 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів

Відповідно до рекомендацій [24] кількість всмоктувальних ліній на водопровідних насосних станціях I і II категорії надійності незалежно від кількості груп насосів, включаючи пожежні, повинна бути не менше двох, при вимиканні однієї лінії залишок розраховується на пропуск розрахункової витрати для насосних станцій I і II категорії надійності. Всмоктувальні лінії виконуються із сталевих труб. Розрахункова витрат кожного із всмоктувальних водоводів визначається за формулою:

$$Q_{вс.в} = Q_{\text{макс. н. ст.}} / (n_{вс} - 1), \quad (3.125)$$

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

$n_{вс}$  — кількість всмоктувальних водоводів

$$Q_{вс.в} = 946 / (2 - 1) = 946 \text{ л/с.}$$

Приймаються водоводи діаметром  $D = 1000$  мм,  $v = 1,19$  м/с,  $1000i = 1,53$ , що відповідає вимогам [24].

Число напірних водоводів приймається рівним 2 [24, п.7.6].

Розрахункова витрата води по кожному із водоводів:

$$Q_{н.в} = Q_{\text{макс. н. ст.}} / n_n, \quad (3.126)$$

де  $n_n$  — кількість напірних водоводів.

$$Q_{н.в} = 946 / 2 = 473 \text{ л/с.}$$

Приймаються сталеві напірні водоводи діаметром  $D_n=600$  мм,  $v=1,58$  м/с,  $1000i=5,06$  [3], що відповідає вимогам [24].

### 3.14.3 Визначення розрахункового напору насосів

Для попереднього розрахунку необхідний напір насосів визначається за формулою:

$$H = H_{cm} + h_{в.в} + h_{н.с.} + h_{вдм} + h_{н.в.} + h_m, \quad (3.127)$$

де  $H_{cm}$  – статичний напір, м;

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

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

$h_{вдм}$  – втрати у водомірі,  $h_3=1,5$  м;

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

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

Статичний напір:

$$H_{cm} = Z_2 - Z_1, \quad (3.128)$$

де  $Z_2$  – абсолютна максимальна позначка підйому води, м;

$Z_1$  – абсолютна мінімальна позначка в РЧВ для випадку пожежегасіння, м.

$$H_c = 106.9 - 50 = 56.9 \text{ м.}$$

Втрати напору у всмоктувальних водоводах при максимальному водоспоживанні розраховані по формулі

$$h_{в.в} = 1,1 \times i \times l, \quad (3.129)$$

де  $i$  – питомі втрати напору;

$l$  – довжина водоводу.

$$h_{в.в} = 1,1 \times 0,00153 \times 50 = 0,1 \text{ м.}$$

Втрати напору у напірних водоводах при максимальному водоспоживанні:  $h_{н.в} = 1,1 \times 0,00506 \times 2600 = 14,5 \text{ м;}$

$$H = 56,9 + 0,1 + 2,0 + 1,5 + 14,5 = 75,0 \text{ м}$$

На першому ступені  $h'_{н.в} = 1,1 \times 0,00195 \times 2600 = 5,6 \text{ м; } H_1 = 66 \text{ м.}$

### 3.14.4 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежегасінні

Розрахункова подача насосної станції при пожежі:

$$Q'_{н.ст} = Q_{н.ст.} + Q_n \quad (3.130)$$

де  $Q_{н.ст.}$  – розрахункова подача насосної станції для години максимального споживання, 946 л/с;

$Q_n$  – розрахункова витрата на пожежегасіння, 150 л/с

$$Q_{н.ст.} = 946 + 150 = 1096 \text{ л/с}$$

Напір насосів при пожежегасінні:

$$H_n = Z_{н.т.} + H_v + h_{в.н} + h_{м.н.} - Z_p \quad (3.131)$$

де  $Z_{н.т.}$  – абсолютна позначка невідної точки при пожежі,  $Z_{н.т.} = 50 \text{ м;}$

$H_v$  – вільний напір в невідній точці при пожежі,  $H_{св} = 10 \text{ м;}$

$h_{в.н.}$  – втрати напору у водоводах при пожежі,

$$h_{в.н.} = 1,1 \times 0,00682 \times 2600 = 19,5 \text{ м;}$$

$h_{м.н.}$  – втрати напору в мережі від невідної точки до точки підключення водоводів до мережі,  $h_{м.н.} = 19,89 \text{ м;}$

$Z_p$  – абсолютна позначка дна резервуару,  $Z_p = 48,9 \text{ м.}$

$$H_n = 50,0 + 10 + 19,5 + 19,89 - 48,9 = 50,5 \text{ м.}$$

Розрахунковий напір при максомальному водоспоживанні перевищує напір при пожежегасінні, тобто  $H \geq H_n$ , це означає, що режим роботи

насосної станції у випадку пожежі може бути забезпечений насосами, підібраними для випадку максимального водоспоживання за рахунок зниження їх напору.

### 3.14.5 Підбір насосів та електродвигунів до них

Подача першого ( $Q_1=2072,9 \text{ м}^3/\text{год}=575,8 \text{ л/с}$ ) та другого ступеня ( $Q_2=946 \text{ л/с}$ ) та необхідний напір  $H$  забезпечуються роботою на I ступені двох, а на II ступені паралельною роботою трьох насосів марки Д 1600-90 ( $n=1450 \text{ об/хв}$ ). В машинному залі насосної станції встановлюється 3 робочих та два резервних насоси марки Д 1600-90.

Потужність, необхідна для приводу насосу, визначається за формулою:

$$P_n = K \times \rho \times q \times Q_m \times H_m / 1000 \times \eta_H \times \eta_n, \quad (3.132)$$

де  $K$  – коефіцієнт запасу, рівний 1.1;

$\rho$  – густина рідини,  $\text{кг/м}^3$ ,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$Q_m$  – подача насосу,  $Q_m = \kappa_m Q_H \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$Q_m = \kappa_m Q_H = 1,18 \times 0,44 = 0,52 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$H_m$  – напір насосу відповідно до  $Q$ ,  $H_m = 77 \text{ м}$ ;

$\eta_H$  – ККД насосу відповідно до  $Q$ ,  $\eta_H = 0,85$ ;

$\eta_n$  – ККД передачі,  $\eta_n = 1$ ;

Потужність, що необхідна для приводу насосу, визначена за формулою

$$P_n = 1,1 \times 1000 \times 9,8 \times 0,52 \times 77 / 1000 \times 0,85 \times 1 = 500,8 \text{ кВт.}$$

Приймається електродвигун марки А12-41-4 потужністю N-500 кВт.

### 3.14.6 Визначення позначок вісі насосів і долу насосної станції

Враховуючи глибокий рівень підземних вод, корпус насосів насосної станції другого підйому розташовується під заливом від рівня пожежного запасу води у резервуарі.

Позначка верха насосу:

$$Z_{в.н} = Z_{п.ж.} - 0,5, \quad (3.133)$$

де  $Z_{\text{пож}}$  – позначка пожежного рівню у РЧВ, м,  $Z_{\text{пож}}=79,8$  м;

$$Z_{\text{в.н}}=50,0-0,5=49,5 \text{ м.}$$

Позначка вісі насосу:

$$Z_{\text{вс}}=Z_{\text{в.н.}}-A \quad (3.134)$$

де  $A$ – висота насосу від верха до вісі, м.

$$Z_{\text{вс}}=49,5-0,5=49,0 \text{ м}$$

Позначка верха фундаменту:

$$Z_{\text{ф}}=Z_{\text{вс}}-A_{\text{л}}, \quad (3.135)$$

де  $A_{\text{л}}$ – висота насосу від вісі до лап, м

$$Z_{\text{ф}}=49,0-0,7=48,3 \text{ м.}$$

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

$$Z_{\text{п}}=48,3-0,5=47,8 \text{ м.}$$

Мінімальне заглиблення насосної станції повинно складати:

$$h=51-47,8=3,2 \text{ м.}$$

В роботі заглиблення насосної станції приймається 3,2 м.

3.14.7 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідйомного обладнання

Мінімальна висота машинного залу визначається за формулою:

$$H=h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+0,5, \quad (3.136)$$

де  $h_1$  – висота монорельсу,  $h_1 = 0,38$  м [4,9], 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,  $h_3 = 1$  м;

$h_4$  – висота вантажу, м,  $h_4 = 2,54$  м;

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

$$H = 0,38 + 0,755 + 1 + 2,54 + 2,41 + 0,5 = 7,6 \text{ м}$$

Ввисота машинного залу приймається 8,4 м.

З урахуванням того, що головна маса встановленого обладнання знаходиться в межах  $m = 1000 - 5000$  кг, в якості підйомно-транспортного обладнання приймається кран-балка з ручним електроприводом.

### 3.15 Розрахунок резервуарів чистої води

Повний об'єм резервуарів чистої води визначено за формулою:

$$W_{РЧВ} = W_{рег} + W_{ш.ф.} + W_n, \quad (3.137)$$

де  $W_{рег}$  – регулюючий об'єм РЧВ,  $м^3$ ;

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

$W_n$  – об'єм недоторканого пожежного запасу,  $м^3$ .

Регулюючий об'єм резервуарів чистої води розраховується аналогічно об'єму водонапірної башти.

Таблиця 3.2 – Визначення регулюючого об'єму резервуарів чистої води

| 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         | 2,8                | 4,16                            | 1,36                 |                 | 1,36             |
| 1-2         | 2,8                | 4,16                            | 1,36                 |                 | 2,72             |
| 2-3         | 2,8                | 4,17                            | 1,37                 |                 | 4,09             |
| 3-4         | 2,8                | 4,16                            | 1,36                 |                 | 5,45             |
| 4-5         | 4,5                | 4,16                            |                      | 0,34            | 5,11             |
| 5-6         | 4,5                | 4,17                            |                      | 0,33            | 4,78             |
| 6-7         | 4,6                | 4,16                            |                      | 0,44            | 4,34             |
| 7-8         | 4,6                | 4,17                            |                      | 0,43            | 3,91             |
| 8-9         | 4,6                | 4,16                            |                      | 0,44            | 3,47             |
| 9-10        | 4,6                | 4,17                            |                      | 0,43            | 3,04             |

| 1      | 2   | 3    | 4    | 5    | 6     |
|--------|-----|------|------|------|-------|
| 10-11  | 4,6 | 4,17 |      | 0,43 | 2,61  |
| 11-12  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | 2,28  |
| 1      | 2   | 3    | 4    | 5    | 6     |
| 12-13  | 4,5 | 4,16 |      | 0,34 | 1,94  |
| 13-14  | 4,5 | 4,16 |      | 0,34 | 1,6   |
| 14-15  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | 1,27  |
| 15-16  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | 0,94  |
| 16-17  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | 0,61  |
| 17-18  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | 0,28  |
| 18-19  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | -0,05 |
| 19-20  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | -0,38 |
| 20-21  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | -0,71 |
| 21-22  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | -1,04 |
| 22-23  | 4,5 | 4,17 |      | 0,33 | -1,37 |
| 23-24  | 2,8 | 4,17 | 1,37 |      | 0     |
| Усього | 100 | 100  | 6,82 | 6,82 |       |

$$W_{рез} = -1,37 / +5,45 = 6,82\%, \text{ тобто } 5049 \text{ м}^3$$

$$Q_{п} = 3(40+5) + 0,5 \times (15+15) = 150 \text{ л/с.}$$

Об'єм недоторканого пожежного запасу:

$$W_n = t \cdot Q_{пож} + \sum Q_{макс} - Q_1, \quad (3.138)$$

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

$$Q_{пож} = \frac{3600 \times m \times q_{пож}}{1000}, \quad (3.139)$$

де  $m$  – число одночасних пожеж,  $m=3$ ;

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

$t$  – тривалість пожежегасіння, 3 год.



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

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

$$\sum Q_{\text{макс}} = 3545,93 + 3819,62 + 3458,02 = 10823,6 \text{ м}^3$$

$Q_1$  – витрата води, що знаходиться за формулою:

$$Q_1 = 4.17 \times Q \times t \quad (3.140)$$

$$Q_1 = 4.17 \times 74032.3 \times 3/100 = 9261 \text{ м}^3.$$

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

$$W = 2 \times q_{\text{ю}} \times t_{\text{ю}} \times 60, \quad (3.141)$$

$$W_{\text{ш.ф.}} = 2 \times 0,576 \times 6 \times 60 = 414.7 \text{ м}^3.$$

Тоді

$$W_n = 3 \times 432 + 10823,6 - 9261 = 2858,6 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{рчзв}} = 5049 + 414.7 + 2858.6 = 8322.3 \text{ м}^3.$$

Приймаються 3 резервуари чистої води ємністю  $2970 \text{ м}^3$  з розмірами  $30 \times 30 \text{ м}$  та висотою  $3,3 \text{ м}$  (висота шару води  $3,1 \text{ м}$ ).

## 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 4.1 Економічне порівняння технологічних рішень

Для оцінки економічної доцільності різних варіантів очищення води в системі водопостачання міста, проведено порівняння цих варіантів, визначивши приведені витрати для кожного з них. Це було зроблено на основі нормативного терміну окупності з використанням коефіцієнта порівняльної ефективності за формулою:

$$P_i = C_i + E_n \times K_i \quad (4.1)$$

де  $P_i$  – приведені витрати по кожному варіанту, грн.;

$C_i$  – експлуатаційні витрати по кожному варіанту, тис. грн.

$K_i$ – капітальні витрати по кожному варіанту, тис. грн.

$E_n$ – коефіцієнт порівняльної ефективності, який приймається:

$E_n = 0,15$  – для систем водопостачання.

При розробці технологічної схеми очистки води були розглянуті дві можливі схеми обробки води (рис. 4.1).

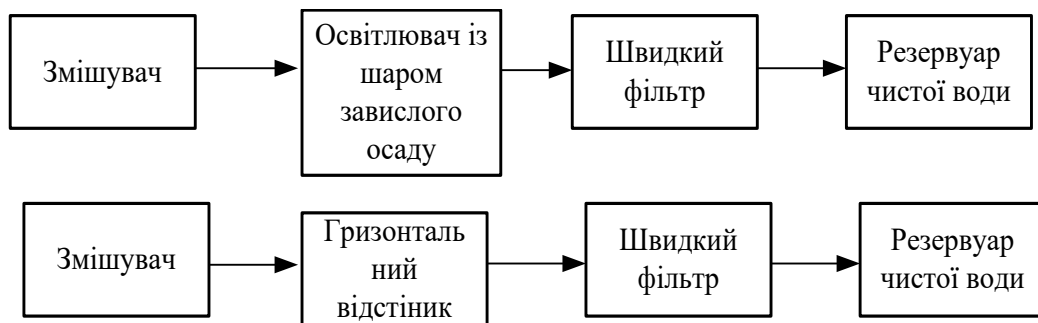


Рисунок 4.1–Технологічні варіанти водопідготовки

Враховуючи загальні експлуатаційні та капітальні показники вартості споруд очищення води, приведені витрати для розглянутих варіантів очищення води складають:

за узагальненими питомим витратами: для першого варіанта очищення:

$$C_1 = 14300 \text{ тис. грн.}, K_1 = 397100 \text{ тис. грн.},$$

$$П_1 = 397100 \times 0,15 + 14300 = 73865 \text{ тис. грн.}$$

- для другого варіанта очищення:  $C_2 = 14300$  тис. грн.,  $K_2 = 353100$  тис. грн, тоді,

$$П_2 = 353100 \times 0,15 + 14300 = 67265 \text{ тис. грн.}$$

Другий варіант очищення води є найбільш економічним, оскільки має найменші приведені витрати. Тому для розробки

та детальних розрахунків обирається варіант очищення води з горизонтальними відстійниками та швидкими фільтрами.

#### 4.2 Планування капітальних витрат

Планування капітальних витрат виконується для прийнятого за найменшими приведеними витратами варіанту очищення води. Результати розрахунків зводять до табл.4.1.

Таблиця 4.1–Розрахунок капітальних витрат

| № п/п                | Найменування   | Кількість | Ціна за одиницю, тис.грн. | Сумарна вартість, тис. грн.. |  |
|----------------------|--|-----------|---------------------------|------------------------------|--|
| 1                    | 2  | 3         | 4                         | 5                            |  |
| <b>Будівлі</b>       |  |           |                           |                              |  |
| 1                    | -насосна станція першого підйому суміщена з водозабірною спорудою      | 1         | 308000                    | 308000                       |  |
|                      | -насосна станція другого підйому                                       | 1         | 148500                    | 148500                       |  |
|                      | -головна будівля станції водопідготовки                                | 1         | 176000                    | 176000                       |  |
|                      | -реагентне господарство  | 1         | 60500                     | 60500                        |  |
|                      | Будівля розташування споруд для промивних вод                          | 1         | 50050                     | 50050                        |  |
| 2                    | -склад хлору   | 1         | 24200                     | 24200                        |  |
|                      | -майстерня   | 1         | 6600                      | 6600                         |  |
|                      | -котельня  | 1         | 11000                     | 11000                        |  |
|                      | -прохідна  | 1         | 385                       | 385                          |  |
|                      | Загальна вартість  |           |                           | 785235                       |  |
|                      | <b>Основні споруди</b>   |           |                           |                              |  |
|                      | -змішувач  | 4         | 440                       | 1760                         |  |
|                      | - горизонтальні відстійники зі вбудованими камерами пластівцеутворення | 10        | 2310                      | 23100                        |  |
|                      | - швидкі фільтри   | 10        | 2475                      | 24750                        |  |
|                      | - резервуари чистої води   | 3         | 1100                      | 3300                         |  |
| - баки для піску     | 2  | 16,5      | 33                        |                              |  |
| - бак для коагулянта | 8  | 5,5       | 44                        |                              |  |

|   |  |   |        |            |
|---|--|---|--------|------------|
|   | - бак для вапна  | 2 | 8,8    | 17,6       |
|   | - приймальна камера промивної води                         | 1 | 66     | 66         |
|   | - горизонтальні пісколовки                                 | 2 | 132    | 264        |
|   | - згущувачі  | 2 | 335,94 | 671,88     |
|   | Загальна вартість  |   |        | 54006,48   |
| 3 | Основне обладнання   |   |        |            |
|   | -насос Д1600-90  | 5 | 209    | 1045       |
|   | -насос Д2000-21  | 2 | 121    | 242        |
|   | -насос Д2000-34  | 4 | 126,5  | 506        |
|   | -кран-балка вантажопідйомністю 3,2 т,                      | 1 | 137,5  | 137,5      |
|   | -підвісний кран вантажопідйомністю 5,0 т,                  | 1 | 204,6  | 204,6      |
|   | -кран мостовий радіальний вантажопідйомністю 5,0 т         | 1 | 170,5  | 170,5      |
|   | - підвісний кран вантажопідйомністю 3,2 т, прольот         | 1 | 137,5  | 137,5      |
|   | - кран мостовий з електроприводом вантажопідйомністю 5,0 т | 2 | 250,8  | 501,6      |
|   | Загальна вартість  |   |        | 2944,7     |
| 4 | Мережі та комунікації                                      |   |        |            |
|   | Капітальні витрати по системі в цілому                     |   |        | 1012686,18 |

### 4.3 Планування поточних витрат

Річні поточні витрати для системи водопостачання та водовідведення визначаються:

$$C = \sum_{i=1}^N C_i, \quad (4.2)$$

де  $\sum_{i=1}^N C_i$  – річна сума витрат за статтями калькуляції, грн.

Розрахунок річних поточних витрат включає такі основні статті: витрати на реагенти, електроенергію, теплову енергію, заробітну плату, амортизаційні відрахування, витрати на поточний ремонт та інші витрати.

$$\sum_{i=1}^N C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 \quad (4.3)$$

де  $C_1$ – витрати на сировину і матеріали, грн.;  $C_2$ – витрати на паливо та енергію на технологічні цілі, грн.;  $C_3$ – витрати на основну заробітну плату, грн.;  $C_4$ – витрати на додаткову заробітну плату, грн.;  $C_5$ – відрахування на соціальне страхування, грн.;  $C_6$ – витрати на утримання і експлуатацію устаткування, грн ;  $C_8$  – інші виробничі витрати, грн.;  $C_{10}$ –побічні витрати, грн.;  $C_{11}$ – зворотні витрати, грн.

#### 4.3.1 Розрахунок витрат на сировину і матеріали

Встановлені витрати на реагенти та матеріали, які застосовуються під час процесу очищення води (сульфат алюмінію, вапно, фільтруюче завантаження фільтрів, хлор). Обсяг використання реагентів в натуральних одиницях взятий з попередніх розрахунків спеціальної частини проекту, а вартість реагентів та матеріалів визначена за довідковими даними в сучасних цінах. Розрахунок витрат в грошовому виразі на реагенти та матеріали проводиться у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на матеріали (реагенти)

| № п/п | Матеріали       | Річна витрата реагенту, матеріалу т/рік | Вартість 1т матеріалу, грн. | Річні витрати на матеріали, Грн. |
|-------|-----------------|---|-----------------------------|----------------------------------|
| 1     | Коагулянт       | 2920 (8,0 т/доб×365)                    | 19800                       | 57816000                         |
| 2     | Вапно           | 65,7(0,18т/доб×365)                     | 9350                        | 614295                           |
| 3     | Пісок           | 30,8 м <sup>3</sup> або 81,6 т          | 4125                        | 336600                           |
| 4     | Хлор            | 112,2(12,81 кг/год<br>×24×365)          | 49500                       | 5553900                          |
|       | <i>Всього :</i> | 3180                                    |                             | 64320795                         |

Витрати на сировину і матеріали становлять  $C_1 = 64320795$  грн.

#### 4.3.2 Розрахунок витрат на паливо і енергію на технологічні цілі

Визначені витрати на електроенергію, яка використовується технологічним устаткуванням. Основним технологічним обладнанням, що споживає електроенергію для системи водопостачання, є насосні агрегати. Для насосної станції першого підйому, на якій встановлені насоси Д2000-34, питома витрата електроенергії розраховується за наступною формулою:

$$\rho = (0,00273 \times H) / \eta, \quad (4.4)$$

де  $H$  – висота підйому води, м

$\eta$  – ККД насосу,

За розрахунками спеціальної частини:

- для насосів насосної станції першого підйому  $H_1 = 29,2$  м;

-  $\eta = 75\%$ ;

Для насосної станції першого підйому:

$$\rho_1 = (0,00273 \times H) / \eta = 0,00273 \times 29,2 / 0,75 = 0,106 \text{ кВт год/м}^3.$$

Для насосної станції II підйому середня питома витрата електроенергії обчислюється:

$$\rho_{\text{ср.}} = 0,01 \sum (P_i \times \rho_i), \quad (4.5)$$

де  $P_i$  – погодинна подача насосів, % загальних витрат на добу.

За розрахунками спеціальної частини (ступеневим графіком подачі):

для першої ступені  $P_1 = 2,8\%$ , для другої –  $P_{11} = 4,5\%$ ;

$\rho_i$  – питома витрата електроенергії в дану годину.

$$\rho_i = \sum N / \sum Q, \quad (4.6)$$

$\sum N$  – сумарна потужність одночасно працюючих двигунів, кВт;

$\sum Q$  – сумарна подача води насосами, м<sup>3</sup>/ год

для першої ступені при роботі двох одного насосу з подачею 2072,9 м<sup>3</sup>/год:

$$\rho_1 = 2 \times 500 / 2072,9 = 0,48 \text{ кВт год/м}^3.$$

Для другої ступені при одночасній роботі чотирьох насосів з сумарною подачею 3405,6 м<sup>3</sup>/год:

$$\rho_{11} = 3 \times 500 / 3405,6 = 0,44 \text{ кВт год/м}^3$$

$$\rho_{\text{сер.}} = 0,01 \times (2,8 \times 0,48 + 4,5 \times 0,44) = 0,0322 \text{ кВт год/м}^3.$$

Річні витрати електроенергії:

$$E_p = Q_{\text{доб}} \times n \times \rho_{\text{сер.}}, \quad (4.7)$$

де  $Q_{\text{доб}}$  – добове водоспоживання населеним пунктом, м<sup>3</sup>/добу;

$n$  – число днів роботи насосів за рік.

Річні витрати електроенергії на промивку фільтрів насосами марки

Д 2000-21 визначаються:

$$E_p = 1,2 \times q_{\text{пром}} H_{\text{пром}} \times t_{\text{пр}} \times n_{\text{пром}} \times N_{\phi} / (102 \times \eta), \quad (4.8)$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу потужності,

$q_{\text{пром}}$  – витрата промивної води,  $q_{\text{пром}} = 615 \text{ л/с} = 2214 \text{ м}^3/\text{год}$

$H_{\text{пром}}$  – напір промивних насосів за розрахунком, м  $H_{\text{пром}} = 15 \text{ м}$

$t_{\text{пр}}$  – тривалість промивки, год  $t_{\text{пр}} = 6 \text{ хв} = 0,1 \text{ год}$

$n_{\text{пром}}$  – кількість промивок за рік,  $n_{\text{пром}} = 2 \times 365 = 730$

$\eta$  – ККД промивного насосу,  $\eta = 0,76$

$N_{\phi}$  – кількість фільтрів,  $N_{\phi} = 10$

$$E_p = 1,2 \times 2214 \times 15 \times 0,1 \times 730 \times 10 / (102 \times 0,76) = 375283,3 \text{ кВт год / рік}$$

Вартість електроенергії за рік :

$$\mathcal{E}_p = E_p \times \mathcal{C}, \quad (4.9)$$

де  $E_p$  – річна витрата електроенергії, кВт год за рік.

$\mathcal{C}$  – ціна 1 кВт год, грн.

Розрахунок річних витрат на електроенергію на технологічні потреби виконується в табл. 4.3. З урахуванням витрати електроенергії іншими пристроями (насосами -дозаторами, вантажопідйомним обладнанням):

$$C_2 = 1,3 \times 27008,852 = 35111,51 \text{ тис. грн.}$$

#### 4.3.3 Витрати на основну і додаткову заробітну плату

Витрати на заробітну плату складаються із річного фонду основної і додаткової заробітної плати основних виробничих робочих.

Основна заробітна плата основних робочих становить:

$$C_3 = 11550000 \text{ грн.};$$

додаткова заробітна плата:

$$C_4 = 1430000 \text{ грн.}$$

#### 4.3.4 Витрати на соціальне страхування

Відрахування до фонду соціального страхування становлять:

$$116930000 \times 0,38 = 4484000 \text{ грн.}$$

#### 4.3.5 Витрати на утримання і експлуатацію устаткування

Розрахунок амортизаційних відрахувань виконується в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

| №      | Основні фонди         | Первісна<br>(балансова)<br>вартість основних<br>фондів, тис. грн. | Амортизаційні<br>відрахування, |                   |
|--------|-----------------------|---|--------------------------------|-------------------|
|        |                       |   | Норма, %                       | Сума, тис.<br>грн |
| 1      | Будівлі               | 785235  | 5                              | 39261,75          |
| 2      | Споруди               | 54006,48  | 5                              | 2700,324          |
| 3      | Обладнання            | 2944,7  | 15                             | 441,705           |
| 4      | Мережі та комунікації | 170500  | 15                             | 25575             |
| Разом: |                       |   |                                | 67978,824         |



Таблиця 4.4 – Розрахунок витрат на електроенергію

| Найменування витрат                                   | Число робочих насосів | Потужність двигуна кВт | Режим роботи насосів | Число днів роботи агрегатів за рік, днів | Питома витрата електроенергії, кВт год / м <sup>3</sup> | Добова витрата води, м <sup>3</sup> /добу | Річна витрата електроенергії, кВт год за рік | Вартість електроенергії за 1 Квт год | Річна вартість електроенергії тис. грн |
|---|-----------------------|------------------------|----------------------|--|---|---|--|--------------------------------------|--|
| Насосна станція 1 підйому:<br>- Д2000-34              | 2                     | 255                    | рівномірний          | 365                                      | 0,106   | 76993,6                                   | 2978882                                      | 1,12<br>6,8                          | 20256,398                              |
| Насосна станція 11 підйому:<br>-Д1600-90<br>-Д2000-21 | 3<br>1                | 500<br>250             | ступін.              | 365                                      | 0,0332  | 76993,6                                   | 993008                                       |                                      | 6752,454                               |
| <i>Всього:</i>  |                       |                        |                      |  |   |   | 3911890,4                                    |                                      | <b>27008,852</b>                       |

Враховуючи кошти на утримання та ремонт обладнання, які приймаються в розмірі (10% на утримання та експлуатацію + 6% на ремонт,) загальні витрати на амортизацію, утримання та ремонт обладнання складають:

$$C_5=67978,824 \times 1,16=78855,43 \text{ тис. грн.}$$

також відрахування на соціальне страхування допоміжних робітників, що обслуговують виробничий процес, становлять:

$$(11759229,7 + 1400751,66) + 0,38(11759229,7 + 1400751,66) = 18160774,3 \text{ грн.}$$

Тоді витрати на утримання і експлуатацію обладнання складуть:

$$C_6=78855430 + 18160774,3 = 97016204,3 \text{ грн.}$$

#### 4.3.6 Загальновиробничі витрати

Ця стаття калькуляції відображає витрати на утримання персоналу різних відділів (цехового, адміністративного, управлінського), а також витрати на обслуговування основних фондів загального виробничого призначення, включаючи амортизаційні відрахування та поточний ремонт, а також витрати на обслуговування виробничого процесу та охорону праці. Витрати на охорону праці розраховуються у розмірі 400-500 гривень на одного робітника, заробітна плата керівного складу становить 1892000 грн., загальна кількість робітників станції – 96. Витрати за цією статтею дорівнюють:

$$C_7=1892000+67978824 \times 0,16+(500 \times 96)=12816611,84 \text{ грн.}$$

#### 4.3.7 Інші виробничі витрати

Інші виробничі витрати стосуються витрат на регулярну перевірку якості води і розраховуються у розмірі 1% від загальної суми заробітної плати виробничих працівників та витрат на утримання та обслуговування основних виробничих фондів. Зазначені витрати в цій категорії становлять:

$$C_8=0,01 \times (1155000+97016204,3)=1085662,1 \text{ грн.}$$

#### 4.3.8 Розрахунок собівартості послуг водопостачання

Результати розрахунків для визначення собівартості 1м<sup>3</sup> води за статтями калькуляції зводяться в табл. 4.5. Собівартість одиниці послуг водопостачання визначається за формулою:

$$C_{1\text{м}^3} = B/P, \quad (4.10)$$

де  $P$  – річний обсяг водопостачання, м<sup>3</sup>/рік.

$$P = 74032,25 \times 365 = 27021771,25 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Таблиця 4.5 – Калькуляція собівартості

| Стаття витрат                          | Одиниця виміру | Сума витрат          |                          |
|--|----------------|----------------------|--------------------------|
|  |                | На річний об'єм води | на калькуляційну одиницю |
| Сировина і матеріали                   | грн            | 64320795             | 2,38                     |
| Паливо і енергія на технологічні цілі  | грн            | 35111510             | 1,3                      |
| Основна заробітна плата                | грн            | 11550000             | 0,427                    |
| Додаткова заробітна плата              | грн            | 1430000              | 0,053                    |
| Соціальне страхування                  | грн            | 4484000              | 0,17                     |
| Утримання та експлуатація устаткування | грн            | 97016204,3           | 3,59                     |
| Загальновиробничі витрати              | грн            | 12816611,84          | 0,47                     |
| Інші виробничі витрати                 | грн            | 1085662,1            | 0,04                     |
| Всього витрат                          | грн            | 227814783,24         | 8,43                     |

$$C_{1\text{м}^3} = 227814783,24 / 27021771,25 = 8,43 \text{ грн.}$$

#### 4.3.9 Розрахунок головних показників ефективності послуг водопостачання

У цьому розділі визначаються ключові показники ефективності: абсолютна ефективність, термін окупності системи та рентабельність послуг водопостачання. Ефективність розробленої системи водопостачання

обчислюється з врахуванням коефіцієнта абсолютної економічної ефективності:

$$E_a = (C - C)Q / K = (P \times Q) / K \quad (4.11)$$

де Ц – ціна за послуги водопостачання та водовідведення за 1 м<sup>3</sup>, грн.,  
Ц=17,8 грн.- для населення, Ц=17,8 грн.– для промислових підприємств;

С – собівартість послуги водопостачання за 1 м<sup>3</sup>, грн., С=8,43 грн/м<sup>3</sup>;

П – сума прибутку з 1 м<sup>3</sup>, грн.

К – сума капітальних витрат, грн., К= 1012686180 грн

Q – річний об'єм послуг водопостачання, м<sup>3</sup>; для населення –25287181,75 м<sup>3</sup>/рік, для підприємств –1734589,5 м<sup>3</sup>/рік.

$$E_a = ((17,8 - 8,43) \times 25287181,75 + (17,8 - 8,43) \times 1734589,5) / 1012686180 = 0,23$$

Запланований прибуток дорівнюватиме:

$$P = (17,8 - 8,43) \times 25287181,75 + (17,8 - 8,43) \times 1734589,5 = 236940902,4 \text{ грн.}$$

Термін окупності системи водопостачання та водовідведення:

$$T = 1 / E_a = K / (P \times Q), \quad (4.12)$$

$$T = 1 / 0,23 = 4,3 \text{ роки.}$$

Розрахункові значення коефіцієнтів порівнюються з нормативними коефіцієнтами  $E_n$  і  $T_n$ , які для системи водопостачання дорівнюють:

$$E_n = 0,15, 0,23 \geq 0,15.$$

$$T_n = 1 / 0,15 = 6,7 \text{ роки.}$$

Система водопостачання відповідає нормативним вимогам щодо абсолютної економічної ефективності, оскільки капітальні витрати повністю окупляться протягом 4,3 років, що відповідає встановленим стандартам.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологію очищення природної води для міста із кількістю населення 155273 мешканців:

- водозабірні споруди продуктивністю 0,814 м<sup>3</sup>/с;
- станцію очищення води продуктивністю 73172,7 м<sup>3</sup>/добу у складі реагентного господарства, 4 вертикальних змішувачів, 10 секцій горизонтальних відстійників (розміром у плані 50×4,5×3 м), 10 швидких фільтрів розміром 6,2×6,2 м у плані, споруд для знезараження води, 3 резервуари чистої води ємністю 2970 м<sup>3</sup> з розмірами 30×30 м та висотою 3,3 м (висота шару води – 3,1 м).

- 2 насоси для промивання швидких фільтрів типу Д2000-21 (1 робочий та 1 резервний);

- насосну станцію другого підйому, яка обладнана насосами типу Д 1600-90(3 робочих та 2 резервних).

2. Енергоощадні розробки: технологія повторного використання промивних вод після їх очищення – очисні споруди для обробки води після промивання фільтрів у складі:

- приймальної камери розміром 1600×2000×1600мм;
- 2 секцій пісковловлювачів розмір 15×1,×4,1 м;
- 2 згущувачів діаметром Д=9 м, глибиною h=3,9 м;
- 4 секцій накопичувачів об'ємом 640 м<sup>3</sup> розміром 20×20×1,6 м;

3. Розроблено екологічне обґрунтування: застосування споруд для очищення промивної води дозволяє повторно використовувати скидну воду після промивки швидких фільтрів: економія води за рік становить 2244800 м<sup>3</sup>/рік або 39957440 грн. Застосування споруд для повторного використання промивної води дозволяє запобігти скиданню коагулянту Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> у водойму у кількості 78,6 т за рік.

4. Розраховані економічні показники: собівартість очищення становить 8,53 грн. Запланований прибуток дорівнюватиме 236940902,4 грн. Термін окупності 4,3 роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Добровольська О., Рудаков О. О. Удосконалення роботи інженерних об'єктів системи водопостачання. *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України* : матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. С. 198–200.  
URL: [https://www.znu.edu.ua/ii\\_znu/nauka/conf6/zbirnyk\\_23.pdf](https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf6/zbirnyk_23.pdf)
2. Використання енергозберігаючих технологій в країнах ЄС: досвід для України. Аналітична записка. URL: <http://tinyurl.com/5yrvxsp3>
3. Закон України «Про енергозбереження»  
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>
4. Євробюлетень. Вип.3.2006 р.  
URL: <https://parlament.org.ua/wp-content/uploads/2016/10/03-1.pdf>
5. Пашкевич М. Переосмислення ступеню відповідальності перед майбутнім: Національна доповідь з питань реалізації державної політики у сфері енергоефективності за 2009 рік / та інші. – К., НАЕР-НАУ, 2010. 254 с.  
URL: [https://saee.gov.ua/documents/nationalna\\_dopovid\\_2010-11.pdf](https://saee.gov.ua/documents/nationalna_dopovid_2010-11.pdf)
6. Закон України «Про енергетичну ефективність».  
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#n436>
7. Рішення №37 від 27.06.2013 «Про енергоефективність у житлово-комунальному господарстві».  
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vr037858-13#Text>
8. Іпполітова І.Я., Сорокотяженко К.С. Формування організаційно-економічного механізму енергозбереження на підприємстві.  
URL: <http://www.global-national.in.ua/archive/8-2015/85.pdf>
9. Касьянова Н.В. Впровадження стратегії енергозбереження на промислових підприємствах. Ефективна економіка № 2, 2017 [Електронний ресурс].

URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5916>

10. Джеджула, В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 346 с.

URL: <http://tinyurl.com/4v7nuuha>

11. Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання».

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2119-19#Text>

12. Дмитрук Б. П., Светлова Н. М. Особливості та проблеми комерціалізації обліку комунальних послуг як складова енергозабезпечення. Ефективна економіка. Вип. 10, 2014. [Електронний ресурс].

URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3444>

13. Агаджанов Г. К. Економіка водопровідно-каналізаційних підприємств: навч. посіб. Х.: ХНАМГ, 2010. 392 с.

URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/11325175.pdf>

14. Купчак В.Р., Павлова О.М., Павлов К.В., Лагодієнко В.В. Формування та регулювання регіональних енергетичних систем: теорія, методологія та практика: монографія Луцьк : СПД Гадяк Жанна Володимирівна, друкарня «Волиньполіграф», 2019. 346 с.

URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/268924998.pdf>

15. Сотник М. І., Молошний О. М., Москаленко В. В. Аналіз ризиків та переваг застосування герметичних насосів з трансформатор-асинхронним приводом. URL: <https://ojs.kname.edu.ua/index.php/area/article/view/594>

16. Енергозбереження у водопостачанні та каналізації.

URL: <https://patriot-nrg.com/uk/content/energozberezhennya-u-vodopostachanni-ta-kanalizaciyi>

17. Федулова С.О. Економіка підприємств водопостачання та водовідведення : навч. посіб. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2017. 300 с.



URL: [https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/03/Ekonomika-pidpr.-vodopid.-ta-vodovid\\_Pivovarov\\_Fedulova.pdf](https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/03/Ekonomika-pidpr.-vodopid.-ta-vodovid_Pivovarov_Fedulova.pdf)

18. Кондрашова М. В. Розробка механізму залучення інвестицій в економіку регіону на основі державно - приватного партнерства. Державне управління: удосконалення та розвиток. Вип. 2, 2015. [Електронний ресурс].

URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=877>

19. Аналіз джерел та інструментів залучення фінансових ресурсів для фінансування цілей сталого розвитку в Україні.

URL: <http://tinyurl.com/yakemctj>

20. Canepa Alessandra, Chersoni Giulia, a Fontana Magd (2023). The role of environmental and financial motivations in the adoption of energy-saving technologies: Evidence from European Union data. *Quarterly Review of Economics and Finance*. Vol. 91. P. 1-14.

URL: <http://tinyurl.com/bdkn685x>

21. Barnes Jesse L., Krishen Anjala S., Hu Han-fen (2023). Public tap water perceptions and potable reuse acceptance: a cognitive dissonance theoretical understanding. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 429

URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139587>

22. Tony Van Rossum. Water reuse and recycling in Canada — history, current situation and future perspectives (2020). *Water Cycle*. Vol.1. P. 98-103.

URL: <http://tinyurl.com/3ndue76p>

23. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Кравчинський Р. Л., Чунар'ов О. В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона : навч. Посібник. К. : ВПЦ «Київський університет», 2015. 172 с.

URL: <http://tinyurl.com/jembjaxu>