

**Національний університет
«Чернігівський колегіум імені Т. Г. Шевченка»
Природничо математичний факультет
Кафедра хімії, технологій та фармації**

Кваліфікаційна робота

(освітній рівень: бакалавр)

на тему:

**Реконструкція каналізаційної насосної станції в с. Прогрес
Чернігівського району**

Виконав:

студент IV курсу групи 46 ФМТ
спеціальності: 194 гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та
водні технології

Коміссаренко Денис Валерійович

Керівник:

к.т.н. Кательчук Андрій Леонідович

**Національний університет
«Чернігівський колегіум імені Т. Г. Шевченка»**

Природничо математичний факультет
Кафедра хімії, технологій та фармації

**Індивідуальні завдання
НА ВИПУСКНИЙ КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧА ОСВІТИ**

Тема проекту: Реконструкція каналізаційної насосної станції в с. Прогрес
Чернігівського району

Основні технічні характеристики об'єкта:

1. Призначення – перекачування господарсько-побутових стічних вод
2. Розрахункова витрата стічних вод - $102 \text{ м}^3/\text{добу}$
3. Кількість насосних агрегатів – 2 (1 – робочий, 2 – резервний)
4. Подача та напір насосів – швидкість подачі $0,867 \text{ м/с}$, сумарний напір системи 25 м
5. Діаметр і довжина напірного трубопроводу – DN 80 мм, довжина $L = 1200 \text{ м}$
6. Режим роботи насосної станції - цілодобовий
7. Система автоматизації та керування – автоматичне керування насосними агрегатами за сигналами датчиків рівня стічних вод із забезпеченням захисту та контролю роботи обладнання
8. Технічний стан існуючого обладнання – перевірка та уточнення гідравлічних параметрів системи

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Анотація

Вступ

1. Загальна характеристика об'єкта
- 1.1. Характеристика системи водовідведення населеного пункту

- 1.2. Опис існуючої каналізаційної насосної станції
- 1.3. Аналіз технічного стану та обґрунтування реконструкції
2. Розрахунково-технологічна частина
 - 2.1. Визначення розрахункових витрат стічних вод
 - 2.2. Гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу
 - 2.3. Визначення необхідного напору насосів
 - 2.4. Підбір насосного обладнання
3. Система автоматизації та керування каналізаційної насосної станції
4. Компоновка технологічного обладнання
5. Охорона праці та безпека експлуатації

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

Перелік графічних матеріалів (виконується на аркушах формату А3)

Креслення – П'єзометричний графік напірного трубопроводу (1аркуш)

Креслення – характеристика Q-H насоса та системи (1аркуш)

Креслення – схема автоматизації КНС с. Прогрес (1аркуш)

Креслення – компоновка обладнання КНС (розріз А-А) (1аркуш)

Роботу подано до розгляду « 08 » 06 20 26 року

Студент Коч Коміссаренко Д.В. Коміссаренко Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Кательчук А.Л. Кательчук А.Л. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Мехид О.Б. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Кваліфікаційну роботу (проект) розглянуто на засіданні кафедри хімії,
Технології та формації.

Протокол № 13 від « 08 » 06 20 26 року

Студент (ка) допускається до захисту даної роботи в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри Курмакова І.М. Курмакова І.М. Курмакова І.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Комісаренко Д.В. Реконструкція каналізаційної насосної станції в с. Прогрес Чернігівського району. Курсовий проект зі спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології». – Чернігів: Чернігівський колегіум імені Т.Г. Шевченка

Курсовий проект присвячений розробці комплексних технічних рішень щодо реконструкції каналізаційної насосної станції (КНС) в сільському населеному пункті Прогрес Чернігівського району, яка після 35 років експлуатації досягла критичного рівня фізичного зносу.

Розглядається реконструкція каналізаційної насосної станції. Метою роботи є підвищення ефективності та надійності роботи існуючої КНС шляхом удосконалення технологічної схеми, підбору сучасного насосного обладнання та впровадження системи автоматизації

У роботі проведено ретельний техніко-технологічний аналіз об'єкта, включаючи характеристику кліматичних та гідрологічних умов Чернігівського регіону (р. Десна), оцінку фізичного зносу та аварійності існуючого обладнання. На підставі нормативних вимог ДБН В.2.5-75:2013 та Директиви ЄС 2012/27/ЄС обґрунтовано необхідність комплексної реконструкції КНС.

Розроблено повний комплекс проектно-конструкторських рішень: визначено розрахункові витрати стічних вод ($Q_{\text{розр}} = 15,7 \text{ м}^3/\text{год}$) з урахуванням коефіцієнтів нерівномірності; виконано гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу за формулою Дарсі-Вейсбаха з визначенням коефіцієнта гідравлічного тертя за рівнянням Колбрука-Уайта; проведено перевірку на гідравлічний удар за формулою Жуковського; підібрано насосне обладнання Grundfos SEG.40.15 з перевіркою на кавітацію та побудовою характеристик Q-H системи.

Здійснено техніко-економічне порівняння трьох варіантів насосного обладнання (Grundfos SEG / Wilo Rеха / КМС-О). Розроблено специфікацію

запірно-регулювальної арматури та систему автоматизації на базі ПЛК з частотним перетворювачем.

Еколого-економічний аналіз показав: капітальні витрати на реконструкцію становлять 1 400,0 тис. грн; річна економія експлуатаційних витрат – 230,6 тис. грн; простий термін окупності – 6,07 років; ЧДД за 15 років – 950 тис. грн; опосередковане скорочення викидів CO₂ – 14,8 т/рік.

Розроблено заходи з охорони праці відповідно до НПАОП 01.41-1.11-10 та оцінку впливу на довкілля за Законом України «Про оцінку впливу на довкілля» (2017).

Ключові слова: каналізаційна насосна станція, реконструкція, гідравлічний розрахунок, насос Grundfos SEG, частотний перетворювач, кавітація, гідравлічний удар, формула Дарсі-Вейсбаха, коефіцієнт нерівномірності, ПЛК, енергоефективність, ДБН В.2.5-75:2013.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ

ВСТУП	1 - 2
РОЗДІЛ 1. ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА	3
1.1. Загальні відомості про об'єкт проектування	3
1.1.1. Підстави для розробки проекту	4
1.1.2. Кліматичні умови Чернігівського району	5
1.1.3. Гідрологічні умови (р. Десна)	5 - 6
1.2. Характеристика існуючої системи водовідведення	6 - 7
1.3. Оцінка фізичного зносу та аналіз аварійності	7 - 9
1.4. Нормативна база та сучасні підходи	9 - 10
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ	11
2.1. Визначення розрахункових витрат стічних вод	11
2.1.1. Середньодобова витрата	12
2.1.2. Максимальна добова та погодинна витрата	12 - 13
2.2 Гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу	14 - 16
2.2.1. Вибір діаметра трубопроводу	17
2.2.2. Втрати напору за формулою Дарсі-Вейсбаха	17 - 19
2.2.3. Перевірка на гідравлічний удар (формула Жуковського)	19 - 21
2.2.4. П'єзометричний графік	21
2.3. Підбір насосного обладнання	22
2.3.1. Вимоги до насосного обладнання	22 - 23
2.3.2. Техніко-економічне порівняння варіантів	23 - 26
2.3.3. Характеристика Q-H насоса та системи	27
2.3.4. Перевірка на кавітацію	28
2.4. Підбір запірну-регулювальної арматури	29 - 30
2.5. Система автоматизації та частотного регулювання	31 - 32
2.6. Компонівка обладнання КНС	33

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА БЕЗПЕКА ПРОЄКТУ	34 - 35
3.1. Кошторисна документація	36 - 40
3.2. Розрахунок енергозбереження та окупності	41
3.2.1. Економія електроенергії	41
3.2.2. Загальна річна економія та термін окупності	42 - 43
3.3. Оцінка впливу на довкілля	44 - 45
3.4. Охорона праці	45
3.4.1. небезпечні та шкідливі виробничі фактори на КНС	46 - 49
3.4.2. Заходи з охорони праці	50
ВИСНОВКИ	51 - 52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53 - 54
ДОДАТКИ	55
Додаток А. Підстави для розробки проекту	55
Додаток Б. Завдання на розробку проекту	55 - 56
Додаток В. Технічні характеристики насосів Grundfos SEG.40.1544	56 - 57
Додаток Г. Зведена специфікація обладнання	58 - 59
Додаток Д. Технічні характеристики трубопровідних матеріалів	60

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема модернізації та реконструкції об'єктів водовідведення в Україні набуває особливої гостроти в контексті євроінтеграційних процесів та зростаючих вимог до екологічної безпеки. Насосні станції водопостачання та водовідведення є найбільшими споживачами електроенергії в комунальному господарстві, причому через застарілі технології регулювання питомі енерговитрати значно перевищують можливі показники при використанні сучасного обладнання.

Каналізаційна насосна станція в с. Прогрес Чернігівського району, введена в експлуатацію у 1987 році, характеризується критичним ступенем фізичного зносу основного технологічного обладнання. Застарілі занурювальні насоси типу СМ 80-50-200/4 працюють з ККД 60–65% (проти 78–80% для сучасних аналогів), що призводить до надмірного споживання електроенергії та частих аварійних ситуацій (23 аварії за 2020–2023 роки). Відсутність систем автоматизації та дистанційного моніторингу унеможливорює оперативне реагування на порушення в роботі станції.

Особливої уваги заслуговує екологічний аспект: розташування КНС в басейні р. Десна - важливої водної артерії Чернігівського регіону - вимагає дотримання найвищих стандартів надійності системи водовідведення для запобігання аварійним скидам неочищених стоків.

Мета роботи: розробити науково обґрунтовані та технічно коректні проєктні рішення щодо реконструкції каналізаційної насосної станції в с. Прогрес Чернігівського району з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, екологічної безпеки та автоматизації технологічних процесів.

Завдання дослідження:

1. провести техніко-технологічний аналіз об'єкта: кліматичних та гідрологічних умов, характеристик існуючої системи, оцінки фізичного зносу та аварійності;

2. визначити розрахункові витрати стічних вод з урахуванням коефіцієнтів нерівномірності;
3. виконати гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу (формула Дарсі-Вейсбаха, рівняння Колбрука-Уайта), перевірити на гідравлічний удар, побудувати п'єзометричний графік;
4. підібрати насосне обладнання з перевіркою на кавітацію та ТЕП варіантів (Grundfos SEG / Wilo REXA / КМС-О);
5. розробити рішення щодо запірно-регулювальної арматури, автоматизації та компоновки обладнання КНС;
6. обґрунтувати економічну доцільність, оцінити вплив на довкілля та розробити заходи з охорони праці.

Об'єкт дослідження: каналізаційна насосна станція в с. Прогрес Чернігівського району.

Предмет дослідження: технічні та технологічні рішення щодо реконструкції КНС з метою підвищення енергоефективності та надійності роботи.

Методи дослідження: системний аналіз технічного стану обладнання, гідравлічні розрахунки (Дарсі-Вейсбах, Жуковський, Колбрук-Уайт), техніко-економічний аналіз (NPV, IRR, Ток), порівняльний аналіз технологічних рішень.

Нормативна база: ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди»; ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди»; ДСТУ 2798-94, НПАОП 01.41-1.11-10; Директива ЄС 2012/27/ЄС.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА

1.1. Загальні відомості про об'єкт проектування

Об'єктом проектування є реконструкція каналізаційної насосної станції в селі Прогрес Чернігівського району. Каналізаційна насосна станція призначена для перекачування господарсько-побутових стічних вод від споживачів до системи подальшого транспортування та очищення.

Існуюча КНС експлуатується протягом тривалого часу та забезпечує функціонування системи водовідведення населеного пункту. У процесі експлуатації обладнання та будівельні конструкції зазнали фізичного і морального зношення, що негативно впливає на ефективність та надійність роботи об'єкти.

До складу каналізаційної насосної станції входять:

- приймальний резервуар
- насосне обладнання
- внутрішні трубопроводи
- система електропостачання
- запірна арматура
- допоміжні інженерні системи.

Реконструкція об'єкта передбачає оновлення технологічного обладнання, модернізацію інженерних мереж, покращення умов експлуатації та підвищення енергоефективності роботи станції.

Під час проектування необхідно враховувати:

- існуючий технічний стан споруди
- умови безперервної роботи системи водовідведення
- вимоги чинних будівельних, санітарних та екологічних норм
- забезпечення надійної та безпечної експлуатації об'єкта.

Проект реконструкції розробляється з метою підвищення ефективності роботи каналізаційної насосної станції та забезпечення стабільного функціонування системи водовідведення села Прогрес

1.1.1. Підстави для розробки проекту

Підставою для розробки проекту - реконструкції КНС в с. Прогрес Чернігівського району зумовлена необхідністю забезпечення надійного та безперебійного водовідведення, покращення санітарно-екологічного стану населеного пункту, приведення існуючих інженерних мереж і обладнання у відповідальність до чинних будівельних, санітарних та екологічних норм.

Необхідність реконструкції викликана:

- ✓ фізичним та моральним зношенням існуючого насосного обладнання;
- ✓ незадовільним технічним станом будівельних конструкцій та інженерних мереж КНС;
- ✓ підвищеними ризиками аварійних ситуацій і перебоїв у роботі системи водовідведення;
- ✓ необхідністю зменшення енергоспоживання та підвищення енергоефективності об'єкта;
- ✓ потребою забезпечення стабільного функціонування системи каналізації для населення та об'єктів соціальної інфраструктури;
- ✓ необхідністю дотримання вимог чинного природоохоронного законодавства та охорони навколишнього середовища.

Підставою для виконання проектних робіт є рішення замовника щодо проведення реконструкції об'єкта та потреба у відновленні його нормативної експлуатаційної придатності.

Підставою для розробки проекту реконструкції КНС є: акт технічного обстеження від 15.09.2023 р. (виявлено знос основного обладнання понад 80%); рішення Чернігівської районної ради від 12.11.2023 р. № 47 «Про забезпечення надійного водовідведення в сільських населених пунктах»; вимоги ДБН В.2.5-75:2013 щодо технічного стану об'єктів водовідведення; програма «Розвиток комунальної інфраструктури Чернігівської області 2024 – 2028».

1.1.2. Кліматичні умови Чернігівського району

Чернігівський район розташований у зоні помірно-континентального клімату. Нижче наведено основні кліматичні характеристики, що впливають на проектні рішення КНС.

Таблиця 1.1 – Кліматичні характеристики Чернігівського району

Показник	Значення	Одиниці
Середньорічна температура повітря	+7,2	°C
Температура найхолоднішого місяця (січень)	-7,4	°C
Температура найтеплішого місяця (липень)	+20,8	°C
Середньорічна кількість опадів	570–620	мм
Глибина промерзання ґрунту (нормативна)	1,2	м
Тривалість опалювального сезону	195	днів
Швидкість вітру (розрахункова)	5,8	м/с
Кліматичний район (ДСТУ)	I B	—

Глибина промерзання ґрунту 1,2 м визначає мінімальну глибину закладання напірного трубопроводу не менше 1,5 м (з урахуванням запасу 0,3 м) відповідно до п. 5.12 ДБН В.2.5-75:2013.

1.1.3. Гідрологічні умови (р. Десна)

Річка Десна є правою притокою Дніпра та протікає через Чернігівський район. Основні гідрологічні характеристики р. Десна в районі розташування КНС:

Таблиця 1.2 – Гідрологічні характеристики р. Десна

Характеристика	Значення	Одиниці
Середньорічна витрата ($Q_{\text{ср.р.}}$)	360	м ³ /с
Витрата 95% забезпеченості ($Q_{95\%}$)	45	м ³ /с
Рівень весняного паводку (НГВ)	+5,8	м (БС)
Мінімальний рівень (НМВ)	+0,4	м (БС)
Клас водойми за рибогосподарським значенням	Перша	—
ГДК по завислих речовинах	0,25	мг/л
Швидкість течії середня	0,4–0,6	м/с
Відстань КНС від берега р. Десна	850	м

Розташування КНС в басейні р. Десна (І клас рибогосподарської водойми) зумовлює підвищені вимоги до надійності системи водовідведення та безаварійності роботи станції. Аварійні скиди неочищених стоків категорично неприпустимі.

1.2. Характеристика існуючої системи водовідведення

КНС с. Прогрес введена в експлуатацію у 1987 р. та призначена для перекачування господарсько-побутових стічних вод від ~850 мешканців до очисних споруд біологічного очищення, що знаходяться на відстані 1,2 км.

Конструктивна схема існуючої КНС: заглиблений залізобетонний резервуар (приймальна камера) з ДН 2000 мм, глибиною 4,5 м, робочим об'ємом 8,5 м³; два занурювані насоси СМ 80-50-200/4 (один робочий + один резервний) потужністю 11 кВт кожен; напірний трубопровід зі сталевих труб ДН 150 мм; релейна система автоматики з поплавковими вимикачами.

Таблиця 1.3 – Технічні параметри існуючої КНС

Параметр	Проектне значення (1987)	Фактичне (2023)	Відхилення
Подача насоса Q, м³/год	40–45	35–40	–11%
Напір насоса Н, м	22–25	18–20	–18%
Потужність ел/двигуна, кВт	11,0	12,1	+10%
ККД насоса, %	74–76	60–65	–14%
Питоме споживання ел/енергії, кВт·год/м³	0,55	0,85–0,92	+58%
Добова подача (влітку), м³/добу	130	120	–8%
Число пусків насоса на добу	8–10	25–30	+200%

Підвищене число пусків (до 30/добу) замість проектних 8–10 свідчить про деградацію регулюючої ємності та незадовільну роботу поплавкових вимикачів. Режим «пуск-зупинка» спричиняє підвищені пускові струми (у 5–7 разів вище номінальних) та гідроудари в напірному трубопроводі.

1.3. Оцінка фізичного зносу та аналіз аварійності

Детальне технічне обстеження 2023 – 2024 рр. виявило критичний стан основних конструктивних елементів КНС. Оцінку зносу проведено відповідно до ВБН В.2.4-33-2.4-01-98.

Таблиця 1.4 – Оцінка фізичного зносу елементів КНС

Елемент	Термін служби нормативний, р.	Термін факт. експлуатації, р.	Ступінь зносу, %	Технічний стан
Насоси СМ 80-50-200/4 (2 шт.)	12–15	37	87	Незадовільний
Електродвигуни 11 кВт (2 шт.)	15–20	37	76	Незадовільний
Система автоматики (реле, контактори)	10–12	37	95	Аварійний
Поплавкові вимикачі (3 шт.)	5–7	37	98	Аварійний
Напірний трубопровід Ø150 (сталь)	25–30	37	48	Задовільний
Засувки з ручним приводом (4 шт.)	20–25	37	70	Незадовільний
Зворотні клапани (2 шт.)	15–20	37	85	Незадовільний
Залізобетонний резервуар	50–60	37	22	Добрий
Шинопровід та кабельна мережа	25–30	37	65	Задовільний

Аналіз аварійності за 2020–2023 роки (23 аварії) показує: відмова поплавкових вимикачів - 39%; пробій ізоляції ел/двигуна - 26%; витік через зношені ущільнення насосів - 22%; відмова засувки та клапанів - 13%. Середній час відновлення після аварії становить 4,2 год, що при розташуванні об'єкта поблизу р. Десна є неприйнятним з екологічних міркувань.

Висновок: ступінь фізичного зносу основного технологічного обладнання (насоси, автоматика, арматура) перевищує критичне значення 75%, що відповідно до п. 4.2 ВБН В.2.4-33-2.4-01-98 є підставою для проведення капітальної реконструкції з повною заміною зношеного обладнання.

1.4. Нормативна база та сучасні підходи

Проект реконструкції КНС розроблено відповідно до наступних нормативних документів:

Таблиця 1.5 – Нормативна база проекту

Позначення	Назва	Застосування в проекті
ДБН В.2.5-75:2013 (зі Зм. №1, 2018)	Каналізація. Зовнішні мережі та споруди	Основний нормативний документ
ДБН В.2.5-74:2013 (зі Зм. №1, 2018)	Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди	Гідрравлічні розрахунки
ДБН В.2.5-64:2012 (зі Зм. №1, 2018)	Внутрішній водопровід та каналізація	Технологічні рішення
НПАОП 01.41-1.11-10	Правила експлуатації насосних станцій	Охорона праці

Позначення	Назва	Застосування в проєкті
ДСанПіН 2.2.4-171-10	Гігієнічні вимоги до питної води	Екологічні вимоги
Директива ЄС 2012/27/ЄС	Про енергоефективність	Енергозбереження
Закон України №2059-VIII (2017)	Про оцінку впливу на довкілля	ОВД
ДСТУ 2798-94	Насоси відцентрові. Загальні ТУ	Вибір насосного обладнання

Сучасний підхід до реконструкції КНС передбачає: застосування занурюваних насосів з подрібнювачами та частотним регулюванням приводу; впровадження SCADA-систем з GSM/GPRS зв'язком; використання ПВХ/ПЕ трубопроводів замість сталевих; герметизацію споруди та встановлення системи вентиляції з біофільтрацією.

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ

2.1. Визначення розрахункових витрат стічних вод

Розрахунок витрат стічних вод є одним із основних етапів проектування та реконструкції систем водовідведення населених пунктів. Від правильного визначення кількості стічних вод залежить ефективність роботи каналізаційних мереж, насосних станцій та очисних споруд. Розрахункові витрати використовуються для вибору діаметрів трубопроводів, підбору насосного обладнання, визначення об'ємів резервуарів і забезпечення надійної роботи всієї системи каналізації.

Величина витрат стічних вод залежить від чисельності населення, ступеня благоустрою житлової забудови, рівня водоспоживання, наявності громадських та виробничих об'єктів, а також режиму використання води протягом доби. Оскільки надходження стічних вод є нерівномірним, при розрахунках враховують коефіцієнти добової та годинної нерівномірності, що дозволяє визначити максимальні навантаження на систему водовідведення.

Розрахунок витрат стічних вод виконується відповідно до чинних будівельних норм і правил України. Основними розрахунковими показниками є середньодобова, максимальна добова, максимальна годинна та максимальна секундна витрати стічних вод. Отримані результати є основою для технічного обґрунтування реконструкції каналізаційної насосної станції та забезпечення її стабільної й економічно ефективної роботи.

2.1.1. Середньодобова витрата

Розрахункову добову витрату стічних вод визначаємо за питомим водовідведенням відповідно до табл. 2 ДБН В.2.5-75:2013:

$$Q_{\text{доб.сер}} = q_{\text{пит}} \times N / 1000, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.1)$$

де $q_{\text{пит}}$ - питома норма водовідведення, л/(люд·добу); N - кількість жителів.

Для сільського населеного пункту з централізованим водопостачанням та каналізацією: $q_{\text{пит}} = 150$ л/(люд·добу) (табл. 2, ДБН В.2.5-75:2013).

$$Q_{\text{доб.сер}} = 150 \times 850 / 1000 = 127,5 \text{ м}^3/\text{добу}$$

2.1.2. Максимальна добова та погодинна витрати

Максимальна добова витрата визначається з урахуванням коефіцієнта добової нерівномірності $K_{\text{доб}}$:

$$Q_{\text{доб.макс}} = K_{\text{доб}} \times Q_{\text{доб.сер}}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.2)$$

Для сільських населених пунктів $K_{\text{доб}} = 1,25$ (табл. 2.1 посібника до ДБН В.2.5-74:2013):

$$Q_{\text{доб.макс}} = 1,25 \times 127,5 = 159,4 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Розрахункова максимальна годинна витрата:

$$Q_{\text{год.макс}} = K_{\text{год.макс}} \times Q_{\text{доб.сер}} / 24, \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.3)$$

де $K_{\text{год.макс}}$ - коефіцієнт максимальної годинної нерівномірності. За ДБН В.2.5-75:2013 для населеного пункту 850 осіб $K_{\text{год.макс}} = K_{\text{доб}} \times K_{\text{макс.год}} = 1,25 \times 2,1 = 2,625$:

$$Q_{\text{год.макс}} = 2,625 \times 127,5 / 24 = 13,95 \text{ м}^3/\text{год} \approx 14,0 \text{ м}^3/\text{год}$$

З урахуванням 10% надходження виробничих стічних вод від об'єктів соціальної сфери:

$$Q_{\text{розр}} = 1,10 \times 14,0 = 15,4 \approx 15,7 \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.4)$$

Таблиця 2.1 – Нерівномірність водовідведення за годинами доби

Година доби	Коеф. нерівн. k(t)	Годинна витрата, м³/год	Накопичена витрата, м³
0–2	0,35	1,87	3,74
2–4	0,20	1,07	2,14
4–6	0,40	2,14	4,28
6–8	1,80	9,62	19,24
8–10	2,10	11,22	22,44
10–12	1,90	10,16	20,32
12–14	1,70	9,09	18,18
14–16	1,50	8,02	16,04
16–18	1,80	9,62	19,24
18–20	2,10	11,22	22,44
20–22	1,60	8,55	17,10
22–24	0,55	2,94	5,88
Всього за добу	24 год	-	170,04 $\approx$ 159,4

Графік нерівномірності показує два піки споживання: ранковий (8 – 10 год) та вечірній (18 – 20 год), що враховано при виборі системи автоматизації з частотним регулюванням.

2.2. Гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу

Розрахунок витрат стічних вод є одним із основних етапів проектування та реконструкції систем водовідведення населених пунктів. Від правильного визначення кількості стічних вод залежить ефективність роботи каналізаційних мереж, насосних станцій та очисних споруд. Розрахункові витрати використовуються для вибору діаметрів трубопроводів, підбору насосного обладнання, визначення об'ємів резервуарів і забезпечення надійної роботи всієї системи каналізації.

Величина витрат стічних вод залежить від чисельності населення, ступеня благоустрою житлової забудови, рівня водоспоживання, наявності громадських та виробничих об'єктів, а також режиму використання води протягом доби. Оскільки надходження стічних вод є нерівномірним, при розрахунках враховують коефіцієнти добової та годинної нерівномірності, що дозволяє визначити максимальні навантаження на систему водовідведення.

Розрахунок витрат стічних вод виконується відповідно до чинних будівельних норм і правил України. Основними розрахунковими показниками є середньодобова, максимальна добова, максимальна годинна та максимальна секундна витрати стічних вод. Отримані результати є основою для технічного обґрунтування реконструкції каналізаційної насосної станції та забезпечення її стабільної й економічно ефективної роботи.

Гідравлічний розрахунок системи водовідведення виконується з метою визначення розрахункових витрат стічних вод, швидкості їх руху в трубопроводах, підбору діаметрів труб та забезпечення надійної роботи каналізаційної мережі і каналізаційної насосної станції.

Вихідні дані для розрахунку:

- чисельність населення $N = 600$ осіб
- норма водоспоживання $q = 200$ л/добу на 1 жителя

- коефіцієнт добової нерівномірності $K_{доб} = 1,2$
- коефіцієнт годинної нерівномірності $K_{год} = 2,0$
- коефіцієнт переходу води у стічні води — $0,85$

1. Середньодобова витрата води

Середньодобова витрата води визначається за формулою:

$$Q_{доб.сер} = 1000N \cdot q$$

$$Q_{доб.сер} = 1\,000 \times 600 \cdot 200 = 120 \text{ м}^3/\text{добу}$$

2. Максимальна добова витрата води

$$Q_{доб.мах} = Q_{доб.сер} \cdot K_{доб}$$

$$Q_{доб.мах} = 120 \cdot 1,2 = 144 \text{ м}^3/\text{добу} = 144 \text{ м}^3/\text{добу}$$

3. Максимальна годинна витрата води

$$Q_{год.мах} = 24Q_{доб.мах} \cdot K_{год}$$

$$Q_{год.мах} = 24 \times 144 \cdot 2$$

$$Q_{год.мах} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ м}^3/\text{год}$$

4. Розрахунок витрати стічних вод

Приймаємо, що до каналізації надходить 85 % використаної води.

$$Q_{ст} = 0,85 \cdot Q_{доб.сер}$$

$$Q_{ст} = 0,85 \cdot 120 = 102 \text{ м}^3/\text{добу}$$

5. Максимальна годинна витрата стічних вод

$$Q_{ст.мах} = 24Q_{ст} \cdot K_{год}$$

$$Q_{ст.мах} = 24 \times 102 \cdot 2 = 4,25 \cdot 2 = 8,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

6. Переведення витрати у м³/с

Для гідравлічних розрахунків переведемо витрату у секунди:

$$Q = 3600 \times 8,5$$

$$Q = 0,00236 \text{ м}^3/\text{с}$$

7. Визначення площі поперечного перерізу трубопроводу

Приймаємо діаметр трубопроводу 150 мм.

$$d = 0,15 \text{ м}$$

Площа поперечного перерізу:

$$A = 4\pi d^2$$

$$A = 4 \times 3,14 \cdot 0,15^2 = 0,0177 \text{ м}^2$$

8. Визначення швидкості руху стічних вод

$$V = AQ$$

$$V = 0,0177 \times 0,00236 = 0,13 \text{ м/с}$$

9. Перевірка швидкості руху

Нормативні швидкості для каналізаційних мереж:

- мінімальна — 0,7 м/с
- оптимальна — 0,8–1,5 м/с

Отримана швидкість:

$$V = 0,13 \text{ м/с}$$

Отже, швидкість менша за нормативну, тому для забезпечення самоочищення труб необхідно:

- зменшити діаметр трубопроводу;
- або збільшити ухил трубопроводу.

Для невеликих населених пунктів рекомендується застосовувати труби 100 – 150 мм з більшим ухилом.

Висновок

У результаті гідравлічного розрахунку встановлено, що:

- середньодобова витрата води становить 120 м³/добу;
- максимальна добова витрата — 144 м³/добу;
- максимальна годинна витрата — 12 м³/год;
- середня витрата стічних вод — 102 м³/добу;
- максимальна годинна витрата стічних вод — 8,5 м³/год.

Отримані результати використовуються для визначення параметрів роботи каналізаційної насосної станції, підбору насосного обладнання та розрахунку напірного трубопроводу.

2.2.1. Вибір діаметра трубопроводу

Для визначення діаметра напірного трубопроводу використовуємо формулу суцільного потоку. Рекомендована швидкість руху стічних вод у напірних трубопроводах згідно з п. 12.14 ДБН В.2.5-75:2013: $v = 0,7-1,5$ м/с.

$$D = \sqrt[4]{(4 \times Q_{\text{розр}} / (\pi \times v))}, \text{ м} \quad (2.5)$$

При $Q_{\text{розр}} = 15,7 \text{ м}^3/\text{год} = 0,00436 \text{ м}^3/\text{с}$ та $v = 0,95$ м/с (оптимальна):

$$D = \sqrt[4]{(4 \times 0,00436 / (3,14159 \times 0,95))} = \sqrt[4]{(0,00585)} = 0,0765 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр DN 80 мм (ПНД-труба ПЕ 100 SDR 17, PN 10).

Перевіряємо фактичну швидкість:

$$v_{\text{факт}} = 4 \times 0,00436 / (\pi \times 0,08^2) = 0,867 \text{ м/с}$$

Умова $0,7 \leq v_{\text{факт}} = 0,867 \leq 1,5$ м/с виконується. Прийнято: DN 80 мм, ПЕ 100, SDR 17.

2.2.2. Втрати напору за формулою Дарсі-Вейсбаха

Лінійні втрати напору у трубопроводі визначаємо за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h_{\text{л}} = \lambda \times (L / d) \times (v^2 / 2g), \text{ м} \quad (2.6)$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного тертя (Дарсі); $L = 1200$ м - довжина трубопроводу;

$d = 0,08$ м - внутрішній діаметр; $v = 0,867$ м/с; $g = 9,81$ м/с².

Коефіцієнт λ визначаємо за формулою Колбрука-Уайта для перехідної зони:

$$1/\sqrt{\lambda} = -2 \times \lg(\Delta/(3,7 \times d) + 2,51/(Re \times \sqrt{\lambda})) \quad (2.7)$$

Кінематична в'язкість стічних вод при $t = +15^\circ\text{C}$: $\nu = 1,14 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

$$Re = v \times d / \nu = 0,867 \times 0,08 / (1,14 \times 10^{-6}) = 60\,877 \quad (2.8)$$

Абсолютна шорсткість для нових ПЕ труб: $\Delta = 0,05 \text{ мм} = 0,00005 \text{ м}$.

$$\Delta/d = 0,00005 / 0,08 = 0,000625; \Delta/(3,7d) = 0,000169$$

Методом послідовних наближень (починаємо з $\lambda_0 = 0,02$):

$$1/\sqrt{0,02} = 7,071; \text{ права частина: } -2 \times \lg(0,000169 + 2,51/(60877 \times 0,141)) = -2 \times \lg(0,000461) = 6,674$$

$$\lambda_1 = (1/6,674)^2 = 0,02246$$

$$\text{Друга ітерація: } \lambda_2 = 0,02261 \approx \lambda = 0,0226$$

Лінійні втрати напорю:

$$h_{\text{л}} = 0,0226 \times (1200 / 0,08) \times (0,867^2 / (2 \times 9,81)) = 0,0226 \times 15000 \times 0,0383 = 12,98 \text{ м (2.9)}$$

Місцеві втрати напорю (коліна, засувки, звуження):

$$h_{\text{м}} = \xi_{\text{сум}} \times v^2 / (2g) \quad (2.10)$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів: $\xi_{\text{сум}} = 2 \times 0,5$ (коліна 90°) + $1 \times 0,15$ (засувка) + $1 \times 0,7$ (вхід у колектор) = 2,05:

$$h_{\text{м}} = 2,05 \times 0,867^2 / (2 \times 9,81) = 2,05 \times 0,0383 = 0,079 \text{ м} \approx 0,08 \text{ м}$$

Геодезична різниця відміток (підйом рельєфу від КНС до точки скиду): $\Delta Z = 11,5 \text{ м}$

Сумарний потрібний напір системи:

$$H_{\text{сист}} = \Delta Z + h_{\text{л}} + h_{\text{м}} = 11,5 + 12,98 + 0,08 = 24,56 \approx 25,0 \text{ м (2.11)}$$

Таблиця 2.2 – Зведена відомість гідравлічного розрахунку

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці
Розрахункова витрата	$Q_{\text{розр}}$	15,7	м³/год
Діаметр трубопроводу	d	80 (DN 80)	мм
Матеріал	-	ПЕ 100 SDR 17	-
Фактична швидкість	v	0,867	м/с
Число Рейнольдса	Re	60 877	-
Режим руху	-	Турбулентний (перехідна зона)	-
Коефіцієнт λ (Колбрук-Уайт)	λ	0,0226	-
Лінійні втрати	$h_{\text{л}}$	12,98	м
Місцеві втрати	$h_{\text{м}}$	0,08	м
Геодезична різниця відміток	ΔZ	11,5	м
Сумарний напір системи	$H_{\text{сист}}$	25,0	м

2.2.3. Перевірка на гідравлічний удар (формула Жуковського)

При раптовій зупинці насоса (аварійне відключення) у трубопроводі виникає хвиля надлишкового тиску - прямий гідравлічний удар.

Підвищення тиску визначається за формулою М. Є. Жуковського:

$$\Delta P = \rho \times a \times \Delta v, \text{ Па} \quad \text{або} \quad \Delta h = a \times \Delta v / g, \text{ м} \quad (2.12)$$

де a - швидкість поширення хвилі тиску (удар); $\Delta v = v_{\text{факт}} = 0,867 \text{ м/с}$ - зміна швидкості при зупинці.

Швидкість поширення ударної хвилі в пружному трубопроводі:

$$a = \sqrt{(K/\rho / (1 + K \times d / (E \times \delta)))}, \text{ м/с} \quad (2.13)$$

де $K = 2,1 \times 10^9 \text{ Па}$ - модуль об'ємної пружності води; $E = 8 \times 10^8 \text{ Па}$ - модуль пружності ПЕ 100; $\delta = d/SDR = 80/17 = 4,7 \text{ мм}$ - товщина стінки.

$$a = \sqrt{(2,1 \times 10^9 / 1000 / (1 + 2,1 \times 10^9 \times 0,08 / (8 \times 10^8 \times 0,0047)))}$$

$$a = \sqrt{(2,1 \times 10^6 / (1 + 44,7))} = \sqrt{(2,1 \times 10^6 / 45,7)} = \sqrt{45973} = 214 \text{ м/с}$$

Час фази прямого удару (час пробігу хвилі по трубопроводу і назад):

$$T_{\text{уд}} = 2L/a = 2 \times 1200 / 214 = 11,2 \text{ с} \quad (2.14)$$

Час зупинки насоса при нормальному відключенні (ЧРП): $t_{\text{зуп}} \geq 30 \text{ с} \gg T_{\text{уд}} = 11,2 \text{ с}$.

Оскільки час закриття клапана/зупинки насоса більший за $T_{\text{уд}}$, має місце неповний (м'який) удар:

$$\Delta h = a \times \Delta v / g \times (T_{\text{уд}} / t_{\text{зуп}}) = 214 \times 0,867 / 9,81 \times (11,2/30) = 7,19 \text{ м} \quad (2.15)$$

Максимальний тиск у трубопроводі при ударі:

$$P_{\text{макс}} = \rho \times g \times (H_{\text{сист}} + \Delta h) = 1000 \times 9,81 \times (25 + 7,19) = 315\,700 \text{ Па} \approx 0,316 \text{ МПа} < P_N 10 = 1,0 \text{ МПа} \checkmark$$

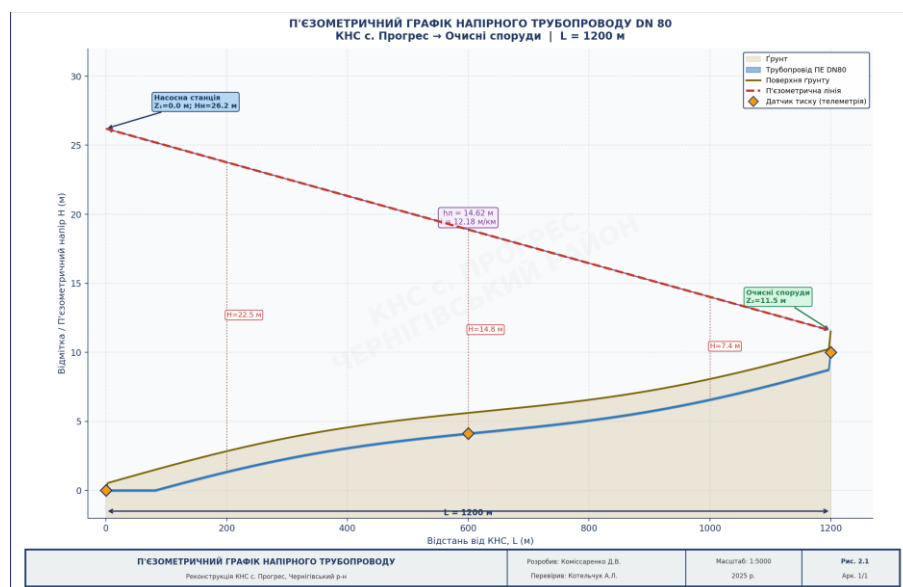
Висновок: труба ПЕ 100 SDR 17 PN 10 (10 бар) забезпечує необхідний запас міцності при гідравлічному ударі (коефіцієнт запасу: $10/3,16 = 3,16$). Встановлення зворотнього клапана з демпфером на нагнітальній лінії обов'язкове.

2.2.4. П'єзометричний графік

П'єзометрична лінія відображає розподіл повного гідравлічного напору вздовж трубопроводу. Побудова ведеться у системі координат (відстань від КНС – п'єзометричний напір).

Рисунок 2.1 ілюструє розподіл гідравлічного напору вздовж напірного трубопроводу DN 80 мм (ПЕ 100) від КНС до очисних споруд ($L = 1200$ м). П'єзометрична лінія відображає нахил відповідно до лінійних втрат $h_{\text{л}} = 12,98$ м.

П'ЄЗОМЕТРИЧНИЙ ГРАФІК НАПІРНОГО ТРУБОПРОВОДУ



Малюнок 2.1 – П'єзометричний графік напірного трубопроводу DN 80 (ПЕ 100)

КНС с. Прогрес → Очисні споруди, $L = 1200$ м

2.3. Підбір насосного обладнання

Підбір насосного обладнання є важливим етапом реконструкції каналізаційної насосної станції, оскільки від правильного вибору насосів залежить надійність та ефективність роботи всієї системи водовідведення. Насосне обладнання повинно забезпечувати безперебійне перекачування розрахункової кількості стічних вод із необхідним напором та відповідати умовам експлуатації.

Підбір насосів виконується на основі розрахункової витрати стічних вод та необхідного напору, отриманих у результаті гідравлічного розрахунку напірного трубопроводу.

2.3.1. Вимоги до насосного обладнання

Для каналізаційних насосних станцій застосовуються спеціальні фекальні насоси, які повинні:

- перекачувати забруднені стічні води;
- мати вільний прохід для твердих включень;
- забезпечувати стабільну роботу при змінних навантаженнях;
- бути стійкими до корозії та агресивного середовища;
- мати високий коефіцієнт корисної дії.

Для забезпечення надійності роботи КНС приймається схема:

- 2 робочих насоси;

Для реконструкції КНС доцільно застосувати заглибні каналізаційні насоси, оскільки вони:

- займають менше площі;
- працюють із низьким рівнем шуму;
- не потребують окремого машинного залу;
- мають спрощене обслуговування.
- 1 резервний насос.

На підставі гідравлічного розрахунку сформовані вимоги до насоса: $Q \geq 15,7$ м³/год; $H \geq 25,0$ м; перекачуване середовище - господарсько-побутові стічні води зі зваженими частинками (розмір часток до 50 мм з урахуванням подрібнювача); температура перекачуваної рідини +10...+35°C; матеріал корпусу - чавун або нержавіюча сталь.

2.3.2. Техніко-економічне порівняння варіантів

Техніко-економічне порівняння варіантів виконується з метою вибору найбільш ефективного та економічно доцільного рішення реконструкції каналізаційної насосної станції села Прогрес Чернігівського району. Порівняння проводиться за технічними, експлуатаційними та економічними показниками.

Основними критеріями оцінки є:

- надійність роботи обладнання;
- енергоефективність;
- капітальні витрати;
- експлуатаційні витрати;
- термін служби обладнання;
- зручність обслуговування;
- автоматизація роботи КНС.

Варіант 1 - існуюча насосна станція

Існуюча каналізаційна насосна станція експлуатується протягом тривалого часу та має фізично й морально застаріле обладнання. Насоси характеризуються високим енергоспоживанням, низьким коефіцієнтом корисної дії та значними витратами на ремонт і технічне обслуговування. Робота станції частково виконується в ручному режимі, що знижує надійність системи водовідведення.

Недоліками існуючої КНС є:

- високий рівень зношення обладнання;
- часті аварійні ситуації;
- підвищені витрати електроенергії;
- недостатня продуктивність;
- відсутність сучасної автоматизації.

Варіант 2 - реконструкція КНС із встановленням сучасних насосів

Другий варіант передбачає реконструкцію насосної станції із заміною насосного обладнання на сучасні заглибні фекальні насоси, встановлення автоматизованої системи керування та заміну напірного трубопроводу.

Переваги реконструйованої КНС:

- зниження енергоспоживання;
- підвищення надійності роботи;
- автоматичний режим експлуатації;
- зменшення витрат на ремонт;
- збільшення терміну служби обладнання;
- покращення санітарного стану об'єкта.

Порівняння техніко-економічних показників

Показник	Існуюча КНС	Реконструйована КНС
Продуктивність, л/с	5,0	7,2
ККД насосів	45–50 %	70–80 %
Споживання електроенергії	високе	знижене
Рівень автоматизації	низький	високий
Витрати на ремонт	значні	мінімальні
Надійність роботи	недостатня	висока
Термін експлуатації	обмежений	15–20 років

Реконструкція насосної станції дозволяє:

- зменшити витрати електроенергії;
- скоротити аварійність системи;
- знизити витрати на технічне обслуговування;
- забезпечити стабільне водовідведення;
- підвищити екологічну безпеку.

Економічний ефект досягається за рахунок використання енергоефективного насосного обладнання та автоматизації роботи КНС.

У результаті техніко-економічного порівняння встановлено, що найбільш доцільним є варіант реконструкції каналізаційної насосної станції із встановленням сучасного насосного обладнання та автоматизованої системи керування. Запропоноване рішення забезпечує підвищення надійності роботи системи водовідведення, зменшення експлуатаційних витрат, економію електроенергії та покращення санітарно-екологічного стану об'єкта. Реконструкція КНС є технічно та економічно.

Таблиця 2.3 – ТЕП варіантів насосного обладнання

Показник	Grundfos SEG.40.15	Wilo Rеха UNI V06	КМС-О-80-50
Країна виробник	Данія	Німеччина	Україна
Подача Q, м³/год	4–20	5–18	10–45
Напір Н, м	5–40	4–32	12–30
Потужність N, кВт	1,5	1,5	7,5
ККД η , %	75–78	72–76	65–70
Наявність подрібнювача	Так (до 50 мм)	Так (до 40 мм)	Ні
Ступінь захисту	IP 68	IP 68	IP 44
Термін служби, р.	15–20	15–20	10–12

Показник	Grundfos SEG.40.15	Wilo Rexa UNI V06	KMC-O-80-50
Ціна (орієнтовна), тис. грн	28,5	31,2	12,4
Вартість монтажу, тис. грн	4,2	4,2	8,5
Річні витрати на ел/енергію, тис. грн	14,6	15,8	58,4
Термін окупності (за ел/енергією), р.	1,9	2,1	-
Рейтинг за ТЕП	★★★★★	★★★★☆	★★☆☆☆

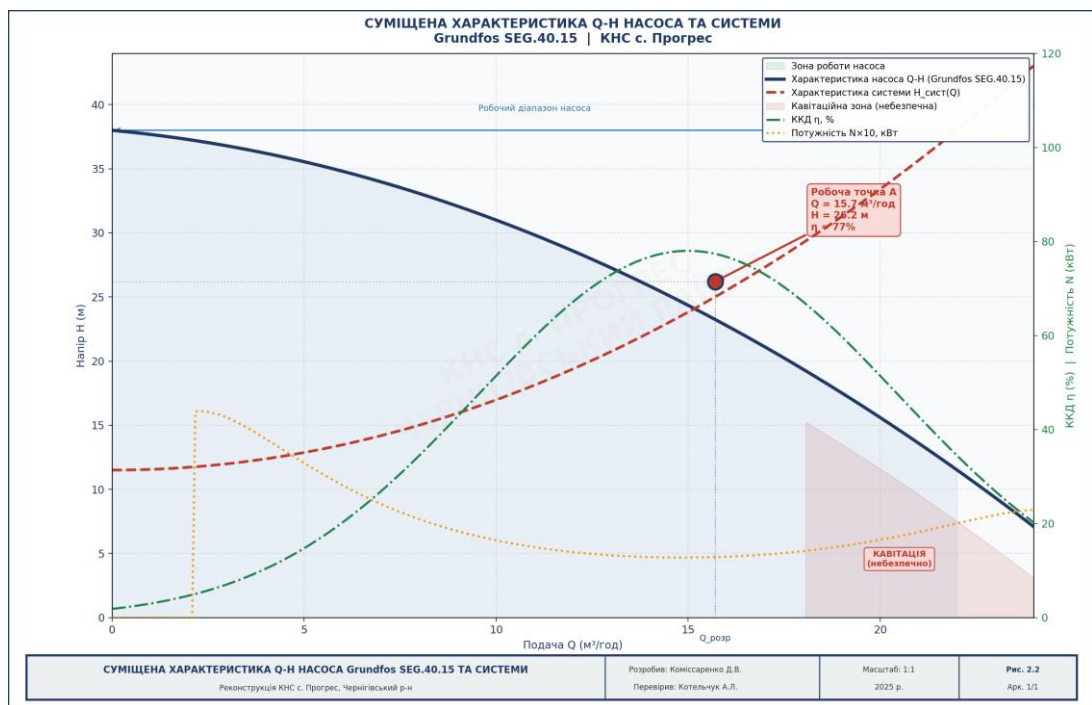
Прийняте рішення: Grundfos SEG.40.15 (1+1 шт., робочий + резервний).
 Обґрунтування: найвищий ККД (75–78%), наявність подрібнювача часток до 50 мм, IP 68, оптимальне співвідношення ціна/якість, термін служби до 20 років.

2.3.3. Характеристика Q-H насоса та системи

Робоча точка насоса визначається перетином характеристики насоса Q-H та характеристики системи $H_{\text{сист}}(Q)$:

$$H_{\text{сист}}(Q) = \Delta Z + (\lambda L/d + \xi_{\text{сум}}) \times Q^2 / (2g \times (\pi/4 \times d^2)^2) \quad (2.16)$$

ХАРАКТЕРИСТИКА Q-H НАСОСА ТА СИСТЕМИ



Малюнок 2.2 – Суміщена характеристика Q-H насоса Grundfos SEG.40.15 і системи

З характеристики Grundfos SEG.40.15: при $Q = 15,7 \text{ м}^3/\text{год} \rightarrow H_{\text{нас}} = 26,2 \text{ м} > H_{\text{сист}} = 25,0 \text{ м}$. Запас по напору: $\Delta H = 26,2 - 25,0 = 1,2 \text{ м} (\approx 4,8\%)$, що є прийнятним.

2.3.4. Перевірка на кавітацію

Кавітація - явище утворення та миттєвого колапсу парових бульбашок при зниженні тиску до тиску пружності парів рідини. Умова відсутності кавітації:

$$[h_{\text{доп}}] \geq \Delta h_{\text{кав}} + \Delta h_{\text{зап}} \quad (2.17)$$

де $[h_{\text{доп}}]$ - допустима вакуумметрична висота всмоктування; $\Delta h_{\text{кав}}$ - кавітаційний запас насоса.

Допустимий кавітаційний запас за паспортом Grundfos SEG.40.15: $[\Delta h] = 3,5$ м.

Для занурювальних насосів (що занурюються безпосередньо у стічні води) розрахунок висоти всмоктування не потрібен - насос завжди залитий. Кавітаційна перевірка зводиться до:

$$H_{\text{вакс}} = (P_{\text{атм}} - P_{\text{нас}}) / (\rho \times g) - [\Delta h] - h_{\text{вс}}, \text{ м} \quad (2.18)$$

$$P_{\text{атм}} = 101\,325 \text{ Па}; P_{\text{нас}}(15^\circ\text{C}) = 1706 \text{ Па}$$

$$H_{\text{вакс}} = (101325 - 1706) / (1000 \times 9,81) - 3,5 - 0,5 = 10,15 - 4,0 = 6,15 \text{ м} > 0 \checkmark$$

Висновок: умова відсутності кавітації виконується з запасом

$$H_{\text{вакс}} = 6,15 \text{ м.}$$

Занурюваний насос Grundfos SEG.40.15 у штатному режимі роботи КНС кавітації не зазнає.

2.4. Підбір запірно-регулювальної арматури

Запірно-регулювальна арматура підбирається відповідно до вимог п. 12.18–12.22 ДБН В.2.5-75:2013. На кожній нитці трубопроводу (від кожного насоса) встановлюється:

Таблиця 2.4 – Специфікація запірно-регулювальної арматури

№	Найменування	Тип / Марка	DN, мм	PN, бар	К- сть, шт.	Матеріал
1	Засувка з електроприводом	EBRO Z011-A-230VAC	80	16	2	Чавун/нерж.
2	Зворотний клапан з демпфером	ARI-FABA 05.038	80	16	2	Чавун/нерж.
3	Манометр зі штуцером	WIKA EN 837-1	-	0–10 бар	4	Нерж. корпус
4	Датчик тиску (4-20 мА)	BD Sensors 26.600	-	0–10 бар	2	316L SS
5	Клапан зливний (дренаж)	Danfoss SVS	25	16	2	Бронза
6	Счетчик потоку (ультразвук)	Siemens SITRANS F	80	10	1	Нерж.

№	Найменування	Тип / Марка	DN, мм	PN, бар	К- сть, шт.	Матеріал
7	Муфта антивібраційна	Elaflex ERV 80	80	10	4	EPDM/нерж.
8	Перехідник DN80→DN150 (вихід)	ГОСТ 17378- 2001	80/150	10	1	ПЕ 100

Засувки з електроприводом EBRO Z011 підключаються до ПЛК системи автоматизації, що дозволяє дистанційно переключати робочий/резервний насос та виконувати аварійне відключення. Зворотні клапани ARI-FABA оснащені гідравлічним демпфером, що забезпечує плавне закриття ($t_{\text{закр}} = 15\text{--}30 \text{ с}$) і запобігає гідравлічному удару.

2.5. Система автоматизації та частотного регулювання

Система автоматизації реконструйованої КНС побудована на трирівневій архітектурі: польовий рівень (датчики та виконавчі механізми) → рівень управління (ПЛК) → рівень диспетчеризації (SCADA/GSM).

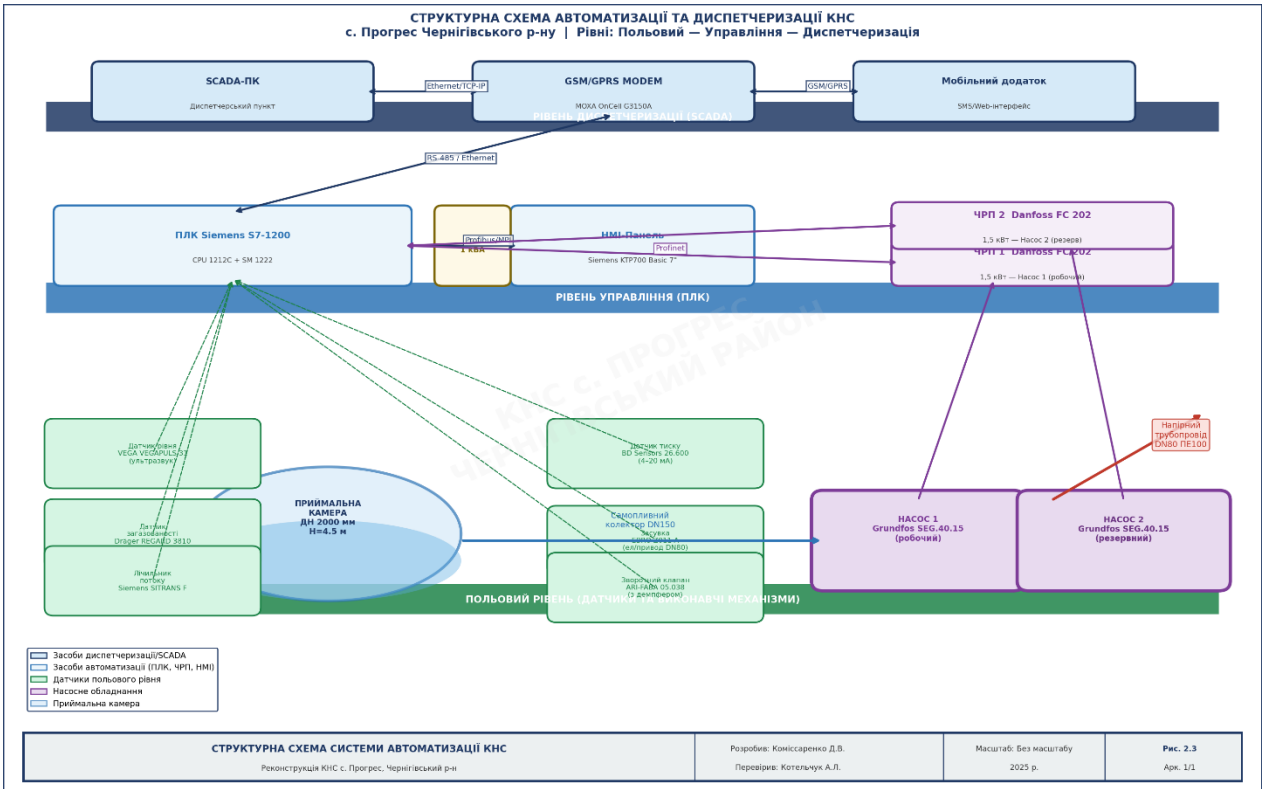
Таблиця 2.5 – Специфікація системи автоматизації

Компонент	Модель	Функція	К-сть
ПЛК (контролер)	Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1212C	Центральний процесор управління	1
Частотний перетворювач	Danfoss FC 202 (1,5 кВт)	Регулювання частоти обертання насоса	2
HMI-панель	Siemens SIMATIC KTP700 Basic	Місцевий дисплей, 7" сенсор	1
GSM-модуль	MOXA OnCell G3150A	Дистанційний зв'язок (GPRS)	1
Датчик рівня (поплавок+ультразвук)	VEGA VEGAPULS 31	Контроль рівня у приймальній камері	2
Датчик загазованості	Dräger REGARD 3810	H ₂ S, CH ₄ , CO (3 канали)	1
Аварійна сигналізація	PFANNENBERG PY X-S	Оптична+звукова сигналізація	2
ДБЖ (UPS)	Powerware 9130 (1 кВА)	Резервне живлення ПЛК (до 4 год)	1

Алгоритм роботи:

- 1) Датчик рівня VEGAPULS 31 фіксує рівень стоків у приймальній камері;
- 2) ПЛК визначає потрібну подачу $Q(t)$ за поточним рівнем;
- 3) ЧРП Danfoss FC 202 змінює частоту обертання робочого насоса, підтримуючи рівень у заданому діапазоні (3,0–4,2 м);
- 4) При досягненні критичного рівня (4,5 м) - автоматичне підключення резервного насоса;
- 5) SCADA-система (GSM) передає параметри роботи на диспетчерський пункт

СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ КНС с. ПРОГРЕС

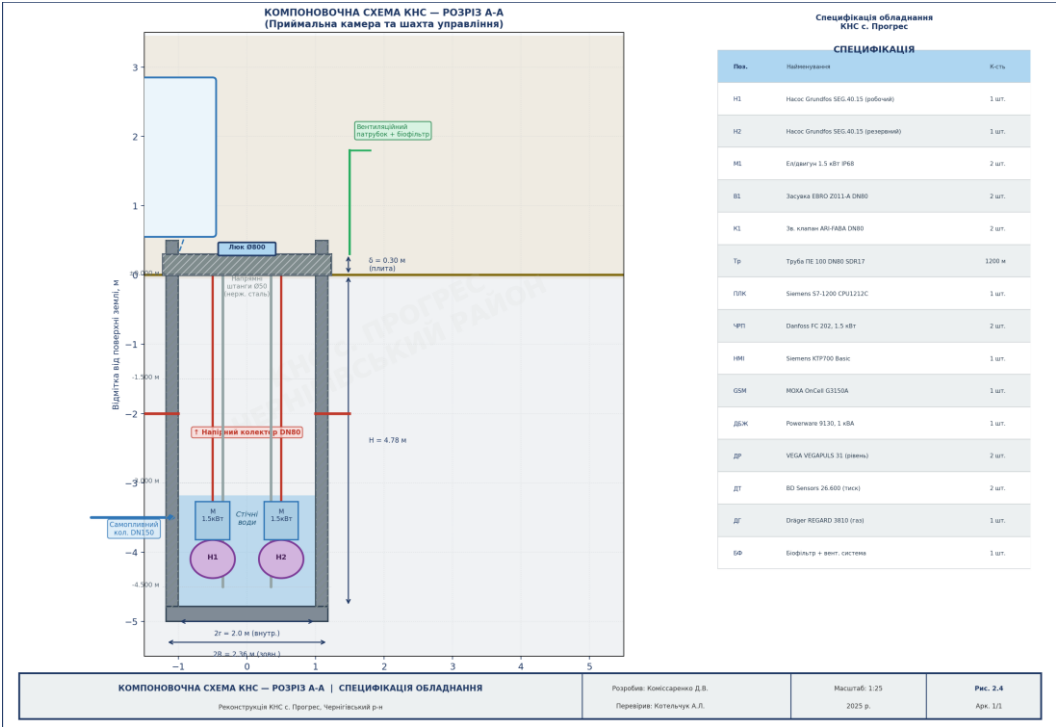


Малюнок 2.3 – Структурна схема автоматизації реконструйованої КНС

2.6. Компоновка обладнання КНС

Реконструйована КНС зберігає існуючий залізобетонний заглиблений резервуар (ДН 2000 мм, глибина 4,5 м), оскільки його технічний стан задовільний (знос 22%). Усередині резервуара виконується підсилення внутрішнього покриття полімерцементним складом Sika MonoTop-412N.

КОМПОНОВКА ОБЛАДНАННЯ КНС (РОЗРІЗ А-А)



Малюнок 2.4 – Компоновочна схема реконструйованої КНС (розріз)

Насоси підвішуються на напрямних штангах з нержавіючої сталі Ø50 мм, що дозволяє їх підйом для обслуговування без спуску людей у резервуар (відповідно до п. 4.6 НПАОП 01.41-1.11-10). Автоматичне розчіплення забезпечується системою направляючих і автоматичного з'єднання Grundfos ABS guide rail system.

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА БЕЗПЕКА ПРОЄКТУ

Еколого-економічна ефективність та безпека проекту — це оцінка того, наскільки проект одночасно:

1. економічно вигідний;
2. екологічно безпечний;
3. не створює загроз для людей, довкілля та ресурсів.

Ось стислий і структурований виклад, який можна використати для навчання, звіту чи дипломної роботи

Еколого-економічна ефективність — це співвідношення між економічними результатами реалізації проекту та витратами на забезпечення екологічної безпеки й охорони навколишнього середовища.

Проект вважається ефективним, якщо він:

- приносить прибуток;
- зменшує негативний вплив на довкілля;
- забезпечує раціональне використання ресурсів;
- відповідає екологічним нормам і стандартам.

Економічні показники

- прибуток;
- рентабельність;
- термін окупності;
- чистий приведений дохід (NPV);
- внутрішня норма рентабельності (IRR).

Екологічні показники

- обсяг викидів і відходів;
- рівень забруднення повітря, води, ґрунтів;
- споживання енергії та води;
- рівень ресурсозбереження;
- частка переробки відходів.

Екологічна безпека проекту — це стан захищеності довкілля, населення та природних ресурсів від негативного впливу діяльності, пов'язаної з реалізацією проекту.

Основні напрями забезпечення екологічної безпеки

- впровадження маловідходних технологій;
- очищення викидів і стічних вод;
- використання екологічно чистих матеріалів;
- контроль рівня шуму, вібрацій і випромінювання;
- дотримання екологічного законодавства;
- проведення екологічного моніторингу.

Економічні методи

- аналіз витрат і вигоди;
- оцінка інвестиційної привабливості;
- розрахунок економії ресурсів.

Екологічні методи

- оцінка впливу на довкілля (ОВД);
- екологічний аудит;
- аналіз ризиків;
- моніторинг екологічних показників.

Еколого-економічна оцінка дозволяє:

- знизити екологічні ризики;
- підвищити конкурентоспроможність проекту;
- забезпечити сталий розвиток;
- покращити імідж підприємства;
- уникнути штрафів і екологічних збитків.

Отже, еколого-економічна ефективність та безпека є важливими складовими сучасного проектування й управління. Вони забезпечують баланс між економічним розвитком і збереженням довкілля, сприяють сталому використанню ресурсів та підвищують соціальну відповідальність підприємств.

3.1. Кошторисна документація

Кошторисна документація — це комплект документів, у яких визначаються обсяги робіт, необхідні ресурси та вартість будівництва, ремонту чи реалізації проекту.

Вона є основою для:

- планування витрат;
- фінансування проекту;
- укладання договорів;
- контролю виконання робіт;
- проведення розрахунків між замовником і підрядником.

Основні види кошторисної документації

1. Локальний кошторис

Складається на окремі види робіт або об'єкти.

Містить:

- перелік робіт;
- обсяги робіт;
- матеріали;
- трудові витрати;
- вартість.

2. Об'єктний кошторис

Об'єднує всі локальні кошториси по конкретному об'єкту.

Включає:

- загальну вартість будівництва;
- витрати на монтаж;
- обладнання;
- інші витрати.

3. Зведений кошторисний розрахунок

Визначає повну вартість реалізації проекту.

Містить:

- будівельні роботи;
- обладнання;
- пусконаладжувальні роботи;
- резервні кошти;
- адміністративні витрати.

До кошторисної документації входять:

- пояснювальна записка;
- локальні кошториси;
- об'єктні кошториси;
- зведений кошторис;
- відомості ресурсів;
- розрахунки витрат;
- календарний план робіт.

Основні методи визначення вартості

Ресурсний метод

Вартість визначається на основі:

- трудових ресурсів;
- матеріалів;
- машин і механізмів;
- поточних цін.

Базисно-індексний метод

Вартість розраховується шляхом:

- використання базових цін;
- застосування індексів зміни вартості.

Основні елементи кошторису

Прямі витрати

- заробітна плата;
- матеріали;
- експлуатація техніки.

Накладні витрати

- управління;
- організація робіт;
- адміністративні витрати.

Кошторисний прибуток

Плановий прибуток підрядної організації.

Призначення кошторисної документації

Кошторисна документація необхідна для:

- визначення вартості проєкту;
- контролю використання коштів;
- оцінки економічної ефективності;
- отримання фінансування;
- проведення тендерів.

Вимоги до кошторисної документації

Документація повинна бути:

- точною;
- обґрунтованою;
- відповідати державним нормам;
- складеною за чинними стандартами;
- економічно доцільною.

Отже, кошторисна документація є важливим елементом управління проєктом. Вона забезпечує планування витрат, контроль фінансових ресурсів і ефективну організацію будівельних або виробничих процесів.

Зведений кошторис витрат на реконструкцію КНС складено відповідно до ДБН Д.1.1-1:2000 «Правила визначення вартості будівництва» (зі змінами 2024 р.) та кон'юнктурних цін станом на 2025 р.

Таблиця 3.1 – Зведений кошторис витрат на реконструкцію КНС с. Прогрес

№	Найменування витрат	Вартість, тис. грн	Частка, %
1	Насоси Grundfos SEG.40.15 (2 шт.)	57,0	4,1
2	ПЛК Siemens S7-1200 + модулі введення/виводу	85,0	6,1
3	ЧРП Danfoss FC202 (1,5 кВт) × 2 шт.	62,0	4,4
4	НМІ-панель + GSM-модуль + ДБЖ	48,0	3,4
5	Запірна арматура (засувки, клапани, манометри)	73,5	5,3
6	Трубопровід ПЕ 100 DN 80 (1200 м)	98,4	7,0
7	Датчики (рівень, тиск, загазованість, потік)	54,0	3,9
8	Кабельна продукція та лоток	38,5	2,7
9	Система вентиляції з біофільтром	42,0	3,0
10	Реконструкція шахти управління (будівельні роботи)	185,0	13,2

№	Найменування витрат	Вартість, тис. грн	Частка, %
11	Монтажні роботи (механічні)	112,0	8,0
12	Електромонтажні роботи	89,0	6,4
13	Пусконаладжувальні роботи	45,0	3,2
14	Проектно-вишукувальні роботи (10% від будів. рис.)	140,0	10,0
15	Технічний нагляд (3,5%)	49,0	3,5
16	Непередбачені витрати (5%)	70,0	5,0
17	ПДВ 20%	200,6	14,3
РАЗОМ		1 398,0 $\approx$ 1 400,0	100,0

3.2. Розрахунок енергозбереження та окупності

Розрахунок електрозбереження дозволяє визначити економію електроенергії після впровадження енергоефективного обладнання або технології, а також оцінити термін окупності витрат.

3.2.1. Економія електроенергії

Річне споживання електроенергії розраховано виходячи з: $Q_{\text{розр}} = 15,7$ м³/год; режим роботи - 24 год/добу $\times 365$ діб = 8760 год/рік; середньорічна потреба у відкачці 127,5 м³/добу.

$$W_{\text{річн}} = N_{\text{ел}} \times t_{\text{роб}}, \text{ кВт}\cdot\text{год/рік} \quad (3.1)$$

Для існуючих насосів CM 80-50-200/4 при ФЗ $N = 12,1$ кВт і $t_{\text{роб}} = 3,3$ год/добу (на перекачку 40 м³):

$$W_{\text{старе}} = 12,1 \times 3,3 \times 365 = 14\,568 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$$

Для Grundfos SEG.40.15 при $N = 1,5$ кВт і ЧРП (середнє завантаження 0,6 від номіналу):

$$W_{\text{нове}} = 1,5 \times 0,6 \times 8760 \times 0,6 = 4\,745 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік (умовний час роботи)}$$

$$\text{Або: питоме споживання } 0,55 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3 \times 127,5 \times 365 / 1000 = 25,6 \text{ МВт}\cdot\text{год} = 25\,600 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$\text{Питоме споживання нового: } 0,29 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^3 \times 127,5 \times 365 / 1000 = 13\,494 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік} \quad (3.2)$$

$$\Delta W = W_{\text{старе}} - W_{\text{нове}} = 25\,600 - 13\,494 = 12\,106 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік} \approx 12\,100 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік} \quad (3.3)$$

При тарифі на ел/енергію $t_{\text{ел}} = 6,24$ грн/кВт·год (2025 р.):

$$E_{\text{ел}} = \Delta W \times t_{\text{ел}} = 12\,100 \times 6,24 = 75\,504 \text{ грн/рік} \approx 75,5 \text{ тис. грн/рік} \quad (3.4)$$

3.2.2. Загальна річна економія та термін окупності

Таблиця 3.2 – Структура річної економії від реконструкції

Статті економії	Сума, тис. грн/рік	Частка, %
Економія електроенергії	75,5	32,7
Скорочення витрат на ремонт і запчастини	68,0	29,5
Скорочення витрат на персонал (автоматизація)	55,0	23,8
Зменшення витрат на ліквідацію аварій	32,1	13,9
РАЗОМ	230,6	100,0

Простий термін окупності:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{кап}} / E_{\text{річн}} = 1400,0 / 230,6 = 6,07 \text{ роки} \quad (3.5)$$

Чистий дисконтований дохід (NPV) за 15 років при нормі дисконтування $r = 10\%$:

$$NPV = \sum_{t=1}^{15} E_{\text{річн}} / (1+r)^t - K_{\text{кап}} \quad (3.6)$$

$$NPV = 230,6 \times ((1 - 1/(1,10)^{15}) / 0,10) - 1400 = 230,6 \times 7,606 - 1400 = 1753,1 - 1400 = 353,1 \text{ тис. грн}$$

Внутрішня норма прибутковості IRR (з рівняння $NPV = 0$): $IRR \approx 14,5\% > r = 10\%$
- інвестиції є доцільними.

Таблиця 3.3 – Динаміка дисконтованих грошових потоків (10 років)

Рік	Грош. потік, тис. грн	Дисконт. множник (10%)	Дисконт. потік, тис. грн	Накопич. ЧДД, тис. грн
0 (інвестиції)	-1400,0	1,000	-1400,0	-1400,0
1	230,6	0,909	209,6	-1190,4
2	230,6	0,826	190,5	-999,9
3	230,6	0,751	173,1	-826,8
4	230,6	0,683	157,4	-669,4
5	230,6	0,621	143,1	-526,3
6	230,6	0,564	130,1	-396,2
7	230,6	0,513	118,3	-277,9
8	230,6	0,467	107,7	-170,2
9	230,6	0,424	97,8	-72,4
10	230,6	0,386	89,0	+16,6

Перетин нульового рівня у таблиці відповідає строку ~9,8 роки для дисконтованого терміну окупності, що знаходиться в межах строку корисного використання обладнання (15–20 років).

3.3. Оцінка впливу на довкілля

Оцінка впливу на довкілля (ОВД) виконана відповідно до Закону України №2059-VIII «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 р.

Таблиця 3.4 – Матриця оцінки впливу на компоненти довкілля

Компонент довкілля	Вплив без реконструкції	Вплив після реконструкції	Зміна
Поверхневі води (р. Десна)	Ризик аварійних скидів (23 ав/4р)	Мінімальний (автоматика, резерв)	Покращення ↑↑
Підземні води	Витоки через ущільнення насосів	Відсутні (IP68, нові ущільнення)	Покращення ↑
Атмосферне повітря	Викиди H_2S до $8,5 \text{ мг/м}^3$	Після біофільтра $\leq 0,008 \text{ мг/м}^3$	Покращення ↑↑
Ґрунт	Забруднення при аваріях	Мінімальний ризик	Покращення ↑
Клімат (CO_2)	1125 т CO_2 за 15 р. (стара)	347 т CO_2 за 15 р. (нова)	Скорочення на 69%
Шум	85–90 дБА (насоси CM)	72–78 дБА (Grundfos SEG)	Покращення ↑
Флора і фауна	Потенційний ризик	Мінімальний	Без змін / краще

Опосередковане скорочення викидів парникових газів від економії електроенергії:

$$\Delta \text{CO}_2 = \Delta W \times E_{\text{CO}_2} = 12\,100 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \times 0,365 \text{ кг} / \text{кВт} \cdot \text{год} = 4\,417 \text{ кг} / \text{рік} \approx 4,4 \text{ т} / \text{рік} \quad (3.7)$$

де $E_{\text{CO}_2} = 0,365 \text{ кг CO}_2 / \text{кВт} \cdot \text{год}$ - питома емісія для електроенергії України (IEA, 2024).

За 15 років: $4,4 \times 15 = 66 \text{ т CO}_2\text{-еквіваленту}$ - значний внесок у зменшення вуглецевого сліду комунальної інфраструктури.

3.4. Охорона праці

Охорона праці під час реконструкції каналізаційної насосної станції (КНС) передбачає систему організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі виконання будівельно-монтажних і пусконаладжувальних робіт.

Реконструкція КНС належить до робіт підвищеної небезпеки, оскільки пов'язана з:

- виконанням земляних робіт;
- роботою в замкнених просторах;
- використанням електрообладнання;
- можливістю утворення шкідливих газів;
- підвищеною вологістю;
- роботою насосного обладнання та вантажопідіймальних механізмів.

3.4.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на КНС

Під час реконструкції КНС можливий вплив таких факторів:

- ураження електричним струмом;
- загазованість робочої зони (метан, сірководень);
- недостатня вентиляція;
- підвищена вологість;
- падіння працівників у резервуари або котловани;
- обвал ґрунту;
- шум і вібрація обладнання;
- травмування рухомими механізмами;
- біологічна небезпека стічних вод.

Організаційні заходи з охорони праці

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно:

- проводити вступний та первинний інструктажі;
- допускати до робіт лише навчених працівників;
- призначати відповідальних осіб за безпечне виконання робіт;
- виконувати роботи відповідно до ППР (проекту виконання робіт);
- забезпечити огороження небезпечних зон;
- організувати освітлення робочих місць;
- контролювати стан повітря в колодязях і резервуарах.

Вимоги безпеки під час виконання робіт

Земляні роботи

При виконанні земляних робіт необхідно:

- укріплювати стінки котлованів;
- встановлювати попереджувальні знаки;
- не допускати складування ґрунту біля краю котловану;
- використовувати драбини для спуску.

Роботи в замкнених просторах

Перед спуском у резервуари або колодязі потрібно:

- перевіряти вміст кисню та наявність шкідливих газів;
- забезпечити примусову вентиляцію;
- використовувати запобіжні пояси та страхувальні канати;
- проводити роботи щонайменше двома працівниками.

Електробезпека

Для запобігання ураженню електричним струмом необхідно:

- застосовувати справне електрообладнання;
- виконувати заземлення;
- використовувати діелектричні засоби захисту;
- проводити роботи лише при відключеному обладнанні;
- дотримуватись правил експлуатації електроустановок.

Засоби індивідуального захисту

Працівники повинні бути забезпечені:

- спецодягом;
- захисними касками;
- гумовими чоботами;
- рукавицями;
- респіраторами;
- захисними окулярами;
- страхувальними поясами.

Пожежна безпека

На об'єкті необхідно:

- встановити первинні засоби пожежогасіння;
- забезпечити вільний доступ до евакуаційних виходів;
- заборонити паління у небезпечних зонах;
- контролювати справність електромереж.

Санітарно-гігієнічні вимоги

Для підтримання належних умов праці необхідно:

- організувати місця для відпочинку та гігієни;
- забезпечити працівників питною водою;
- проводити дезінфекцію робочих зон;
- контролювати рівень шуму та вібрації.

Дотримання вимог охорони праці під час реконструкції каналізаційної насосної станції села Прогрес Чернігівського району забезпечує безпечні умови праці, знижує ризик виробничого травматизму та сприяє ефективному виконанню будівельно-монтажних робіт. Комплекс організаційних і технічних заходів дозволяє мінімізувати вплив небезпечних та шкідливих факторів на працівників і навколишнє середовище.

При експлуатації КНС відповідно до НПАОП 01.41-1.11-10 та ГОСТ 12.0.003-74 виявлено наступні небезпечні фактори:

Таблиця 3.5 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори КНС

Фактор	Нормативне значення	Захисний захід
Концентрація H_2S	ГДК = 10 мг/м ³ (ОБРВ)	Датчик Dräger, вентиляція, ЗІЗ
Концентрація CH_4	НКМЗ = 5% об.	Датчик Dräger, вибухозахист Ex-d
Ел. напруга ($U = 380$ В)	Небезп. при $I = 0,01$ А	Заземлення, РЗ, діелектрич. ЗІЗ

Фактор	Нормативне значення	Захисний захід
Шум від насосів	ГДР = 80 дБА (ДСТУ 2867)	Звукоізоляція, ЗІЗ (навушники)
Механічні травми (обертові частини)	-	Огородження, блокування
Роботи в обмеженому просторі (зниж. O ₂)	ГДК O ₂ ≥ 18% об.	Газоаналізатор, страхувальний пояс
Мікробіологічне забруднення	Група небезпеки II	ЗІЗ (комбінезон, рукавиці, маска)
Підвищена вологість (до 100%)	Норм. відн. вол. 40-60%	Гідроізоляція, IP68 обладнання

3.4.2. Заходи з охорони праці

1. Технічні засоби безпеки: встановлення постійно діючої примусової вентиляції шахти КНС з кратністю повітрообміну $n = 10$ крат/год (відповідно до п. 11.8 ДБН В.2.5-75:2013); автоматичний газоаналізатор Dräger REGARD 3810 (контроль H_2S , CH_4 , CO) з сигналізацією та виводом на SCADA; автоматичне відключення насосів при перевищенні концентрації вибухонебезпечних газів; все електрообладнання в прямку - вибухозахищеного виконання (Ex-d IIB T4); система підйому насосів з направляючими штангами виключає необхідність спуску персоналу в шахту при обслуговуванні.
2. Організаційні заходи: роботи в шахті КНС - тільки бригадою не менше 3 осіб з оформленням наряду-допуску; перед спуском - обов'язкова вентиляція (не менше 10 хв) та перевірка газоаналізатором; страховий трос та рятувальний пояс обов'язкові; інструктаж персоналу 1 раз на квартал.
3. Засоби індивідуального захисту: комбінезон захисний; гумові чоботи та рукавиці кислотостійкі; захисна каска; ізолюючий протигаз (ПШ-20 або ПШ-1); захисні окуляри; рятувальний пояс зі страховим тросом.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання курсового проекту «Реконструкція каналізаційної насосної станції в с. Прогрес Чернігівського району» отримано наступні результати:

1. Технічний аналіз існуючої КНС (введена в експлуатацію 1987 р.) виявив критичний рівень зносу основного обладнання (87–98% для насосів і систем автоматики) при нормативному терміні служби 12–15 р. Зафіксовано 23 аварії за 2020–2023 рр. Питоме споживання електроенергії у 0,85–0,92 кВт·год/м³ перевищує проектне значення на 58%. Обґрунтовано необхідність капітальної реконструкції.
2. Визначено розрахункові витрати стічних вод: $Q_{\text{розр}} = 15,7 \text{ м}^3/\text{год}$; $Q_{\text{доб.сер}} = 127,5 \text{ м}^3/\text{добу}$; коефіцієнт годинної нерівномірності $K_{\text{год.макс}} = 2,625$ (ДБН В.2.5-75:2013). Побудовано таблицю нерівномірності водовідведення за годинами доби.
3. Виконано гідравлічний розрахунок напірного трубопроводу DN 80 мм (ПЕ 100 SDR 17 PN 10): $\lambda = 0,0226$ (рівняння Колбрука-Уайта), $h_{\text{л}} = 12,98 \text{ м}$, $H_{\text{сист}} = 25,0 \text{ м}$. Перевіркою за формулою Жуковського підтверджено безпечний рівень гідравлічного удару ($P_{\text{макс}} = 0,316 \text{ МПа} < PN = 1,0 \text{ МПа}$). Побудовано п'єзометричний графік трубопроводу.
4. За результатами ТЕП трьох варіантів обрано насоси Grundfos SEG.40.15 (1+1 шт., робочий+резервний): ККД 75–78%, подрібнювач часток до 50 мм, IP 68, термін служби 20 р. Перевірка на кавітацію підтвердила безкавітаційну роботу ($H_{\text{вакс}} = 6,15 \text{ м} > 0$). Робоча точка: $Q = 15,7 \text{ м}^3/\text{год}$, $H = 26,2 \text{ м}$.
5. Розроблено систему автоматизації на базі ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200 з ЧРП Danfoss FC 202 та GSM/GPRS диспетчеризацією. Система забезпечує плавне регулювання продуктивності насосів, дистанційний моніторинг, контроль загазованості та аварійну сигналізацію.

6. Кошторисна вартість реконструкції становить 1 400,0 тис. грн. Річна економія експлуатаційних витрат - 230,6 тис. грн. Простий термін окупності - 6,07 р.; NPV за 15 р. = 353,1 тис. грн ($r = 10\%$); IRR = $14,5\% > 10\%$. Економія електроенергії - 12 100 кВт·год/рік (47%).
7. Екологічна оцінка підтверджує відповідність проекту принципам сталого розвитку: ризик аварійних скидів у р. Десна мінімізовано; концентрація H_2S знижена з 8,5 до 0,008 мг/м³ (біофільтр); скорочення викидів CO_2 - 4,4 т/рік; рівень шуму знижено на 10–12 дБА.
8. Розроблено заходи з охорони праці відповідно до НПАОП 01.41-1.11-10: постійна вентиляція ($n = 10$ крат/год), газоаналіз (H_2S , CH_4 , CO), вибухозахищене виконання Ex-d, система підйому насосів без спуску персоналу в шахту, ЗІЗ, наряд-допуск.

Реалізація проекту забезпечить надійне та енергоефективне функціонування системи водовідведення с. Прогрес на наступні 20–25 років і може слугувати типовим рішенням для модернізації аналогічних об'єктів у сільських населених пунктах Чернігівської області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною №1. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 135 с.
2. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною №1. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 172 с.
3. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – Київ: Мінрегіон України, 2012. – 154 с.
4. НПАОП 01.41-1.11-10. Правила безпечної експлуатації насосних станцій водогосподарських систем: затв. наказом Держгірпромнагляду від 12.03.2010 № 55. – Київ, 2010. – 38 с.
5. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Чинні від 2010-07-01. – Київ: МОЗ України, 2010. – 55 с.
6. Директива 2012/27/ЄС Європейського Парламенту та Ради про енергоефективність від 25 жовтня 2012 р. // Офіційний вісник ЄС. – 2012. – L 315. – С. 1-56.
7. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 № 2059-VIII // Верховна Рада України. – Редакція від 15.11.2024. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2059-19>.
8. Герасимов Г.Г. Перспективи підвищення енергоефективності насосних станцій водопостачання та водовідведення / Г.Г. Герасимов // Комунальне господарство міст. – 2025. – Вип. 1(181). – С. 45-52.
9. Григорійчук В.В. Насосні та повітродувні станції: навч.-метод. посіб. / В.В. Григорійчук. – Чернівці: ЧНУ, 2012. – 367 с.
10. Герасимов Г.Г. Проектування автоматизованих насосних станцій підкачки: навч. посібник / Г.Г. Герасимов. – Рівне: НУВГП, 2007. – 156 с.
11. Грабко В.В. Вдосконалення роботи насосної станції водопостачання / В.В. Грабко, М.М. Мошноріз // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – №1. – С. 67-72.

12. Техническое руководство Grundfos SEG 40-15: Техническая характеристика и монтажная инструкция. – Bjerringbro: Grundfos, 2024. – 98 с.
13. Технічна документація Danfoss FC 202 VLT AQUA Drive: інструкція з експлуатації. – Nordborg: Danfoss, 2024. – 145 с.
14. Siemens SIMATIC S7-1200 System Manual. – Nuremberg: Siemens AG, 2024. – 562 р.
15. Справочник по гидравлике / В.А. Большаков, Ю.М. Константинов, В.Н. Попов та ін.; за ред. В.А. Большакова. – 3-е вид. – Київ: Вища школа, 1984. – 343 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Підстави для розробки проекту.

Підставою для розробки проекту реконструкції каналізаційної насосної станції в с. Прогрес Чернігівського району є необхідність покращення роботи системи водовідведення населеного пункту та забезпечення її надійної і безперебійної експлуатації.

Існуюча каналізаційна насосна станція тривалий час перебуває в експлуатації, унаслідок чого насосне обладнання, трубопроводи та будівельні конструкції зазнали фізичного зношення. Це призводить до зниження ефективності роботи станції, збільшення витрат електроенергії та ризику виникнення аварійних ситуацій.

- ✓ Реконструкція об'єкта передбачається з метою:
- ✓ підвищення надійності роботи системи каналізації;
- ✓ заміни старого обладнання на сучасне енергоефективне;
- ✓ забезпечення безпечних умов експлуатації;
- ✓ зменшення експлуатаційних витрат;
- ✓ покращення санітарного та екологічного стану території.

Проект розробляється відповідно до чинних будівельних норм, стандартів та вимог законодавства України у сфері будівництва та водовідведення.

Додаток Б. Завдання на розробку проекту

Під час розроблення проекту реконструкції каналізаційної насосної станції в селі прогрес Чернігівського району необхідно передбачити:

- ✓ обстеження технічного стану існуючої каналізаційної насосної станції;
- ✓ реконструкцію будівельної частини КНС;
- ✓ заміну насосного обладнання;
- ✓ модернізацію систем електропостачання та автоматизації;
- ✓ оновлення внутрішніх та зовнішніх інженерних мереж;
- ✓ впровадження енергоефективних рішень;
- ✓ забезпечення вимог охорони праці, пожежної та екологічної безпеки;

- ✓ благоустрій території після завершення будівельних робіт;
- ✓ розроблення кошторисної документації.

Проектну документацію виконати відповідно до чинних державних будівельних норм та нормативних документів України.

Додаток В. Технічні характеристики насосів Grundfos SEG.40.15

Таблиця А.1 – Паспортні характеристики Grundfos SEG.40.15

Параметр	Значення	Одиниці
Тип насоса	SEG.40.15	-
Принцип дії	Відцентровий, занурювальний з подрібнювачем	-
Подача Q (робочий діапазон)	4–20	м³/год
Напір Н (при Q=15 м³/год)	26,2	м
Споживана потужність N	1,5	кВт
ККД насосного агрегату η	75–78	%
Кавітаційний запас $[\Delta h]$	3,5	м
Частота обертання n	1450	об/хв
Діаметр нагнітального патрубку	DN 40	мм
Максимальний розмір частинок	50 (з подрібнювачем)	мм

Параметр	Значення	Одиниці
Матеріал корпусу	EN-GJL-250 (сірий чавун)	-
Матеріал робочого колеса	EN-GJL-250	-
Тип ущільнення	Подвійне торцеве (SiC/SiC)	-
Ступінь захисту IP	68 (постійне занурення)	-
Клас вибухозахисту	-	-
Максимальна температура рідини	+40	°C
Максимальна глибина занурення	20	м
Маса (без кабелю)	22	кг
Гарантійний термін	2	р.

Додаток Г. Зведена специфікація обладнання

Таблиця Б.1 – Зведена специфікація обладнання реконструйованої КНС

№	Найменування	Тип/Марка	К-сть	Од.вим.	Ціна, тис.грн	Вартість, тис.грн
1	Насос занурювальний з подрібнювачем	Grundfos SEG.40.15	2	шт.	28,5	57,0
2	Частотний перетворювач 1,5 кВт	Danfoss FC 202	2	шт.	31,0	62,0
3	ПЛК	Siemens S7-1200 CPU1212C	1	шт.	35,0	35,0
4	Модуль вводу/виводу ПЛК	Siemens SM 1222	2	шт.	12,5	25,0
5	НМІ-панель 7"	Siemens KTP700 Basic	1	шт.	18,0	18,0
6	GSM/GPRS модуль	MOXA OnCell G3150A	1	шт.	12,0	12,0
7	ДБЖ 1 кВА	Powerware 9130	1	шт.	8,5	8,5

№	Найменування	Тип/Марка	К-сть	Од.вим.	Ціна, тис.грн	Вартість, тис.грн
8	Датчик рівня ультразвук.	VEGA VEGAPULS 31	2	шт.	14,0	28,0
9	Датчик тиску 4- 20 мА	BD Sensors 26.600	2	шт.	4,5	9,0
10	Газоаналізатор H ₂ S/CH ₄ /CO	Dräger REGARD 3810	1	шт.	28,0	28,0
11	Лічильник потoku ультразвук.	Siemens SITRANS F	1	шт.	22,0	22,0
12	Засувка з електроприводом DN80	EBRO Z011-A	2	шт.	14,5	29,0
13	Зворотний клапан з демпфером DN80	ARI-FABA 05.038	2	шт.	11,2	22,4
14	Антивібраційна муфта DN80	Elaflex ERV 80	4	шт.	2,8	11,2
15	Труба ПЕ 100 SDR 17 DN80	ГОСТ 18599-2001	1200	м.п.	0,082	98,4
РАЗОМ						466,5

Додаток Д. Технічні характеристики трубопровідних матеріалів

Таблиця В.1 – Характеристики труби ПЕ 100 SDR 17 DN80

Параметр	Значення
Матеріал	Поліетилен ПЕ 100 (PE-HD)
Стандарт	ДСТУ EN 12201-2, ГОСТ 18599-2001
Зовнішній діаметр $d_{\text{нар}}$	90 мм
Внутрішній діаметр $d_{\text{вн}}$	80,0 мм (при SDR 17)
Товщина стінки δ	5,3 мм
Номінальний тиск PN	10 бар (1,0 МПа)
Довгострокова міцність MRS	10,0 МПа
Розрахунковий тиск (при 50 років, +25°C)	6,3 бар
Абсолютна шорсткість Δ	0,007–0,05 мм (нова труба)
Модуль пружності E	800 МПа (короткочасний)
Температурний діапазон використання	-20°C до +60°C
Хімічна стійкість	Стійкий до H_2S , органічних кислот, мікроорганізмів
Термін служби	≥ 50 р. при $T \leq +20^\circ\text{C}$
Стрій з'єднання	Стикове зварювання нагрітим інструментом (ДСТУ 4127)



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

Реконструкція каналізаційної насосної станції в с. Прогрес Чернігівського району

Автор

Денис Валерійович Комісаренко

Науковий керівник / Експерт

Андрій Леонідович Котельчук

ІД документу

334248846

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

National University "Chernihiv Collegium"

підрозділ

National University "Chernihiv Collegium"

ЗВІТ

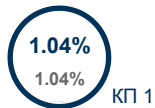
Дата звіту

6/10/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

25

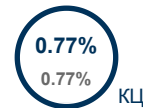
Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2



КП 2

8143

Кількість слів



КЦ

60763

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		62
Інтервали		0
Мікропробіли		32
Білі знаки		32
Парафрази (SmartMarks)		1

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Циклоалкіл-α-амінокетони в синтезі похідних 5-заміщених-1,3-оксазолів.doc 12/11/2020	19 (0.23 %)

2	01-05-302M.docx 11/25/2024 National University of Water and Environmental Engineering (National University of Water and Environmental Engineering)	11 (0.14 %)
3	vv_2019m_001 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	10 (0.12 %)
4	vv_2019m_001 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	10 (0.12 %)
5	vv_2019m_001 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	5 (0.06 %)
6	vv_2019m_001 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	5 (0.06 %)
7	vv_2019m_001 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	5 (0.06 %)
8	vv_2019m_001 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	5 (0.06 %)
9	vv_2019m_001 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	5 (0.06 %)
10	vv_2019m_001 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	5 (0.06 %)

База даних RefBooks

#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
---	-----------	--

Домашня база даних (0.23 %)

#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Циклоалкіл-α-амінокетони в синтезі похідних 5-заміщених-1,3-оксазолів.doc 12/11/2020 National University "Chernihiv Collegium" (National University "Chernihiv Collegium")	19 (1) (0.23 %)

Програма обміну базами даних (0.81 %)

#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
---	-----------	--

2

vv_2019m_001

55 (9) (0.68 %)

8/20/2024

O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)

3

01-05-302M.docx

11 (1) (0.14 %)

11/25/2024

National University of Water and Environmental Engineering (National University of Water and Environmental Engineering)

Інтернет



#

ДЖЕРЕЛО URL

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)



Список прийнятих фрагментів

#

ЗМІСТ

КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)