

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля

Освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»
Спеціальність – 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма «Гідротехніка (водні ресурси)»

Затверджую:
Завідувач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля
д.т.н., професор _____ В. Є. Волкова
«_____» _____ 2026 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи на тему:

**«ПРОЄКТ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА
ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НА ТЕРИТОРІЇ ПОКРОВСЬКОЇ
СЕЛИЩНОЇ ГРОМАДИ СИНЕЛЬНИКІВСЬКОГО РАЙОНУ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ»**

Виконав: здобувач вищої освіти
групи БЦІ-1-22 _____ Данило СОЛОДКИЙ
(підпис)

Керівник: к.т.н., ст. викл. _____ Андрій МАКАРОВ
(підпис)

Рецензент: _____
(підпис)

Дніпро 2026

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля

Освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»
Спеціальність – 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма «Гідротехніка (водні ресурси)»

Затверджую:
Завідувач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля
д.т.н., професор _____ В. Є. Волкова
« _____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу здобувачу вищої освіти
Солодкому Данилу Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проект організації та технології будівництва зрошувальної мережі на території Покровської селищної громади Синельниківського району Дніпропетровської області» затверджена наказом ректора від «24» квітня 2026 р. №820.

2. Термін здачі закінченої роботи: «15» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: план ділянки території розташування проєктованого масиву зрошення; нормативно-довідникова література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Розділ 1. Природно-кліматична та водогосподарська характеристика району будівництва; Розділ 2. Проєктні та конструктивні рішення при будівництві зрошувальної мережі; Розділ 3. Технологія виконання будівельно-монтажних робіт; Розділ 4. Організація будівництва зрошувальної мережі; Розділ 5. Охорона праці, екологічна безпека та енергоефективність; Розділ 6. Економічна частина проєкту; Вступ; Висновки; Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу: Додатки у вигляді креслень на аркушах формату А3; презентація у програмному середовищі Microsoft PowerPoint.

Завдання прийняв до виконання _____ (Данило СОЛОДКИЙ)
(підпис)

Керівник роботи _____ (Андрій МАКАРОВ)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Природно-кліматична та водогосподарська характеристика району будівництва	30.04.2026 р.	
2	Розділ 2. Проектні та конструктивні рішення при будівництві зрошувальної мережі	10.05.2026 р.	
3	Розділ 3. Технологія виконання будівельно-монтажних робіт	20.05.2026 р.	
4	Розділ 4. Організація будівництва зрошувальної мережі	31.05.2026 р.	
5	Розділ 5. Охорона праці, екологічна безпека та енергоефективність	05.06.2026 р.	
6	Розділ 6. Економічна частина проекту	10.06.2026 р.	
7	Вступ, Висновки, Список використаної літератури	12.06.2026 р.	
8	Підготовка презентації, попередній захист роботи на кафедрі	15.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ (Данило СОЛОДКИЙ)
(підпис)

Керівник роботи _____ (Андрій МАКАРОВ)
(підпис)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНА ТА ВОДОГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ БУДІВНИЦТВА	10
1.1. Географічне положення, адміністративний статус та рельєф території	10
1.2. Кліматичні та агрокліматичні умови району будівництва	11
1.3. Гідрологічна та гідрогеологічна характеристика	13
1.4. Ґрунтово-меліоративні умови	15
1.5. Інженерно-геологічні умови ділянки будівництва	16
1.6. Характеристика існуючого водогосподарського комплексу та обґрунтування будівництва	19
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	21
2.1. Експлікація зрошуваних площ та вибір типу зрошувальної мережі .	21
2.2. Обґрунтування типу та конструкції дощувальних машин	23
2.3. Гідравлічний розрахунок трубопроводів та визначення оптимальних діаметрів	25
2.4. Насосна станція підкачки	28
2.5. Специфікація арматури та споруд на мережі	29
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ БУДІВЕЛЬНО- МОНТАЖНИХ РОБІТ	35
3.1. Підготовчий період (геодезична розбивка траси, розчищення території)	35

3.2. Технологія земляних робіт	37
3.3. Технологія монтажу та зварювання поліетиленових трубопроводів	40
3.4. Монтаж гідротехнічних споруд та колодязів	42
3.5. Гідравлічне випробування трубопроводів на міцність та герметичність	45
РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	
4.1. Розрахунок обсягів земляних та будівельно-монтажних робіт	47
4.2. Розрахунок продуктивності будівельних машин та механізмів	51
4.3. Розрахунок потреби в землерийній та будівельній техніці	53
4.4. Розрахунок складу комплексної бригади будівельників	54
4.5. Розрахунок фонду заробітної плати робітників	55
4.6. Розробка календарного графіка виконання робіт	56
4.7. Проектування будгенплану та техніко-економічні показники	56
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ	
5.1. Техніка безпеки під час виконання земляних та зварювальних робіт	60
5.2. Охорона навколишнього середовища та заходи щодо збереження родючого шару ґрунту	62
5.3. Заходи з мінімізації впливу будівельної техніки на екосистему громади	63
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУ	
6.1. Визначення техніко-економічних показників проєкту будівництва та терміну окупності системи зрошення	66
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	75

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена інженерному обґрунтуванню, технологічному розробленню та організації будівельного виробництва при будівництві системи зрошення. Загальний об'єм пояснювальної записки складає 76 сторінок. В роботі наведено 9 рисунків, 14 таблиць.

Мета дослідження – інженерне обґрунтування та розробка ефективних проєктних, технологічних та організаційних рішень для будівництва закритої напірної зрошувальної мережі на території Покровської селищної громади Синельниківського району Дніпропетровської області загальною площею нетто 353,5 га (площа зрошення – 255,45 га) для забезпечення сталого виробництва сільськогосподарської продукції з мінімальними ресурсними витратами та швидким терміном окупності капітальних вкладень.

Об'єкт дослідження – процес будівництва, технологія монтажу та організація зведення закритої напірної гідромеліоративної мережі із використанням полімерних трубопроводів та сучасних широкозахватних дощувальних машин.

Предмет дослідження – технологічні параметри, організаційні моделі, інженерно-гідравлічні розрахунки та техніко-економічні показники будівництва системи зрошення.

Ключові слова: зрошувальна мережа, поліетиленові труби, дощувальна машина Pivot, дощувальна машина Liner, гідравлічний розрахунок, проєкт організації будівництва, технологія будівництва, календарний графік, термін окупності.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний стан аграрного сектору України в умовах глобальних кліматичних змін характеризується стійкою тенденцією до зростання посушливості та підвищення середньорічних температур повітря. Дніпропетровська область, зокрема її Синельниківський район, територіально належить до північно-степової підзони, яка традиційно класифікується як зона ризикованого землеробства через гострий дефіцит природного зволоження. За таких умов стабільне ведення рослинництва та отримання гарантованих високих врожаїв таких вологолюбних і високорентабельних культур, як кукурудза на зерно та соя, є неможливим без штучного зволоження.

Існуючий водогосподарський комплекс регіону, побудований у 70–80-х роках минулого століття, наразі майже повністю втратив свій експлуатаційний потенціал через фізичний знос металевих трубопроводів, руйнування бетонних каналів та високу енергоємність застарілого насосного обладнання, що призводить до втрат води до 40–50%. Економічні реалії вимагають докорінного переходу від старих меліоративних схем до будівництва та капітального ремонту внутрішньогосподарських систем із впровадженням сучасних енергоефективних технологій. У зв'язку з цим, розробка раціональних інженерно-конструкторських, технологічних та організаційних рішень для влаштування напірних зрошувальних мереж із використанням довговічних полімерних матеріалів та автоматизованих поливних комплексів є надзвичайно актуальним науково-практичним завданням для цивільної інженерії та водного господарства України.

Мета дослідження полягає в інженерному обґрунтуванні та розробці ефективних проєктних, технологічних та організаційних рішень для

будівництва закритої напірної зрошувальної мережі на території Покровської селищної громади Синельниківського району Дніпропетровської області загальною площею нетто 353,5 га (площа зрошення – 255,45 га) для забезпечення сталого виробництва сільськогосподарської продукції з мінімальними ресурсними витратами та швидким терміном окупності капітальних вкладень.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі визначено та вирішено такі **завдання**:

- проаналізувати кліматичні, гідрологічні, агрокліматичні та інженерно-геологічні умови району будівництва меліоративного об'єкта;
- виконати експлікацію зрошуваних площ і обґрунтувати вибір оптимального типу закритої напірної мережі із поліетиленових труб;
- обґрунтувати вибір, конструктивні та технологічні параметри роботи дощувальних машин;
- виконати комплексний гідравлічний розрахунок магістральних і розподільчих трубопроводів із визначенням оптимальних діаметрів та розрахункових втрат напору;
- розрахувати параметри та обґрунтувати режим роботи насосної станції підкачки (НСП);
- скласти детальну специфікацію трубної продукції, запірно-регулюючої арматури та сталевих фасонних частин для оглядових колодязів і лінійних вузлів;
- визначити фізичні обсяги земляних, сантехнічних та будівельно-монтажних робіт на основі проєктних параметрів;
- розрахувати експлуатаційну продуктивність землерийних і будівельних машин, визначити потребу в техніці, кадрах та обчислити фонд заробітної плати комплексної бригади;
- розробити календарний графік виробництва робіт (таблицю Ганта) потоковим методом та обґрунтувати рішення будівельного генерального плану;

- розробити заходи з охорони праці, техніки безпеки при розробці траншей та зварюванні, а також заходи екологічної безпеки щодо збереження родючого шару чорнозему;
- виконати розрахунок техніко-економічних показників проєкту, визначити обсяги капіталовкладень та експлуатаційних витрат для визначення термін окупності інвестицій.

Об'єкт дослідження – процес будівництва, технологія монтажу та організація зведення закритої напірної гідромеліоративної мережі із використанням полімерних трубопроводів та сучасних широкозахватних дощувальних машин.

Предмет дослідження – технологічні параметри, організаційні моделі, інженерно-гідравлічні розрахунки та техніко-економічні показники будівництва системи зрошення.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань застосовано комплексний підхід, що включає методи математичного та гідравлічного моделювання потоків рідини в напірних трубопроводах, інженерні методи розрахунку стійкості земляних споруд та експлуатаційної продуктивності машин, методи потокової організації будівельного виробництва і сітьового (календарного) планування, а також методи порівняльного техніко-економічного аналізу та калькуляції витрат.

РОЗДІЛ 1

ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНА ТА ВОДОГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ БУДІВНИЦТВА

1.1. Географічне положення, адміністративний статус та рельєф території

Район проектування будівництва сучасної зрошувальної мережі територіально розташований у межах Покровської селищної територіальної громади Синельниківського району (до адміністративно-територіальної реформи 2020 року – Покровського району) Дніпропетровської області. Громада об'єднує низку населених пунктів із центром у селищі міського типу Покровське. Територія громади знаходиться у південно-східній частині Дніпропетровської області, що зумовлює її специфічні логістичні, інженерні та агрокліматичні характеристики [1-3].

У геоморфологічному відношенні досліджувана територія належить до Придніпровської низовини. Рельєф місцевості має переважно хвилястий, рівнинно-горбистий характер. Абсолютні відмітки висот над рівнем моря коливаються в межах 80–130 метрів, у середньому становлячи близько 110 метрів. Місцевість сильно розчленована річковими долинами, балками та ярами, що є характерним для степової зони України. Значна розчленованість поверхні вимагає особливого підходу при трасуванні зрошувальної мережі, оскільки наявність схилів різної крутизни впливає на гідравлічні характеристики трубопроводів та створює ризики водної ерозії ґрунтів у разі порушення режимів поливу.

З інженерно-будівельної точки зору, перепади висот на території Покровської громади потребують застосування напірних трубопроводів із

поліетилену високої щільності (ПЕ-100), здатних витримувати необхідний робочий тиск. При проектуванні насосних станцій підкачування та магістральних водоводів обов'язково враховується геодезичний напір, який необхідно подолати для доставки води від джерела зрошення (каналу або регулюючого басейну) до поливних ділянок. Крім того, наявність балок вимагає будівництва спеціальних інженерних споруд – дюкерів або акведуків у місцях перетину трубопроводами природних перешкод.

В адміністративному відношенні Покровська громада має добре розвинену транспортну інфраструктуру. Через її територію проходять територіальні автомобільні дороги, що забезпечує безперебійне постачання будівельних матеріалів (труб, залізобетонних виробів, піску, щебеню), а також вільний доступ важкої будівельної техніки (екскаваторів, трубоукладачів, кранів) до об'єктів будівництва. Загальна площа сільськогосподарських угідь громади вимірюється десятками тисяч гектарів, значна частина яких страждає від дефіциту вологи [1-3].

Таким чином, просторово-географічне положення та рельєф району будівництва є загалом сприятливими для спорудження інженерних мереж для подачі води на сільськогосподарські поля.

1.2. Кліматичні та агрокліматичні умови району будівництва

Дніпропетровська область, і зокрема територія Покровської селищної громади, розташована у зоні помірних широт. Згідно з агрокліматичним районуванням України, ця територія відноситься до посушливої північно-степової зони. Клімат тут класифікується як помірно-континентальний, що характеризується відносно прохолодною, малосніжною зимою і тривалим, спекотним та посушливим літом. Ці кліматичні умови є визначальним фактором, який обґрунтовує абсолютну необхідність впровадження

штучного зрошення для отримання стабільних і високих врожаїв сільськогосподарських культур [1-3].

Радіаційний баланс території є високим, що забезпечує значний тепловий ресурс для вирощування теплолюбних культур (соняшник, кукурудза, соя, овочі). Однак, цей тепловий потенціал супроводжується гострим дефіцитом вологи. Середньорічна температура повітря в районі будівництва становить $+8... +9^{\circ}\text{C}$. Найхолоднішим місяцем є січень із середньомісячною температурою близько -6°C , хоча абсолютний мінімум у суворі зими може опускатися до $-37... -38^{\circ}\text{C}$. Найспекотніший місяць – липень, із середньою температурою $+22^{\circ}\text{C}$, при цьому абсолютний максимум у серпні часто досягає $+40^{\circ}\text{C}$ і вище у затінку. Амплітуда температурних коливань має критичне значення для проектування будівельних робіт. Згідно з нормативними вимогами, розрахункова глибина промерзання ґрунту в районі становить 0,8–1,0 м. Відповідно, укладання магістральних і розподільчих пластикових трубопроводів зрошувальної мережі має здійснюватися на глибину не менше 1 метра (від верху труби) для запобігання пошкодженню системи внаслідок розширення замерзлої води в зимовий період, а також для захисту поліетилену від термічних деформацій під час спекотного літа.

Атмосферні опади є основним природним джерелом зволоження, але їх розподіл вкрай нерівномірний. Середньорічна кількість опадів для Покровського становить 490 мм. Близько 60-70% цієї кількості випадає в теплий період року, проте переважно у вигляді короткочасних злив, що призводить до швидкого поверхневого стоку води в балки і не забезпечує глибокого промочування кореневмісного шару ґрунту. Випаровуваність з поверхні ґрунту в літній період у 2–3 рази перевищує кількість опадів, що випадають [1-3].

Особливістю клімату є висока повторюваність несприятливих метеорологічних явищ, зокрема суховіїв та пилових бур. Середня кількість днів із суховіями у період з квітня по жовтень становить 40–52 доби. Суховії супроводжуються високою температурою повітря (понад $25-30^{\circ}\text{C}$) та

зниженням відносної вологості повітря до 30% і нижче. Це спричиняє інтенсивне випаровування води з ґрунту та транспірацію рослин, що без зрошення призводить до повітряної та ґрунтової посухи, пригнічення посівів та значних втрат врожаю. Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) для цього району коливається в межах 0,6–0,7, що класифікує територію як посушливу. За таких умов будівництво та експлуатація сучасних енергоефективних зрошувальних систем є не просто заходом підвищення рентабельності аграрного бізнесу, а єдиною запорукою ведення сталого землеробства. Інженерно-кліматичні умови вимагають проведення основних будівельно-монтажних робіт у теплий період року (з квітня по листопад), уникаючи земляних робіт у промерзлих ґрунтах узимку [1-3].

1.3. Гідрологічна та гідрогеологічна характеристика

Головною водною артерією району проектування та потенційним джерелом водопостачання для зрошувальних систем є річка Вовча. Вовча – це річка у Донецькій та Дніпропетровській областях, яка є найбільшою і найдовшою лівою притокою річки Самари (басейн Дніпра). Загальна довжина річки становить 336 км, а площа її водозбірного басейну сягає 13,3 тисяч км². Водозбірний басейн має асиметричну форму і являє собою хвилясту рівнину, сильно порізану балками та ярами [1-3].

Гідрологічний режим річки Вовча характеризується чітко вираженим весняним водопіллям, під час якого проходить понад 70% річного стоку (переважно за рахунок танення снігу), та тривалою літньо-осінньою меженню, коли рівень води суттєво падає. У літню пору на окремих ділянках річка може утворювати плеса і міліти, хоча в межах Дніпропетровської області (нижче за течією) вона зберігає постійну течію. Ширина річища на плесах становить 50–60 м, подекуди досягає 100 метрів, а на перекатах

звужується до 10–20 м. Глибина річки коливається від 0,5 до понад 2 метрів. Похил річки становить 0,34 м/км, що свідчить про спокійну, повільну течію.

З інженерної точки зору, для забезпечення стабільного водозабору на потреби зрошення в умовах нерівномірного стоку річки необхідним є влаштування руслових насосних станцій, здатних функціонувати при змінних рівнях води. Часто передбачається будівництво водозабірних ковшів або поглиблення русла в місцях встановлення всмоктувальних ліній насосів. У меженний період продуктивність насосних станцій повинна корелюватися з екологічними витратами річки, щоб не допустити пересихання русла.

Важливим аспектом гідрологічної характеристики є якість води. Вода в річці Вовча належить до хлоридно-сульфатно-кальцієво-натрієвого типу мінералізації. Згідно з дослідженнями, мінералізація води протягом року не є постійною і змінюється від 1,7 до 3,6 г/дм³. Такий рівень мінералізації класифікує воду як обмежено придатну для зрошення. Використання води з мінералізацією понад 1,5-2,0 г/дм³ без дотримання спеціальних меліоративних заходів може призвести до вторинного засолення ґрунтів.

У зв'язку з цим, проект організації будівництва має обов'язково враховувати дотримання нормативних вимог щодо якості поливної води. Зокрема, технологія поливу повинна базуватися на сучасних методах дрібнодисперсного дощування. Крім того, перед подачею води в закриту трубопровідну мережу проектується блоки потужної фільтрації (гравійні та дискові фільтри), оскільки річкова вода містить значну кількість завислих часток (мулу, водоростей), які здатні швидко засмітити форсунки.

Гідрогеологічні умови території характеризуються відносно глибоким заляганням водоносних горизонтів на вододілах (більше 10-15 м) та ближчим до поверхні у долинах річок і балок (1-3 м). Глибоке залягання ґрунтових вод на основних орних масивах є позитивним фактором, оскільки знижує ризик швидкого заболочування території внаслідок зрошення, однак моніторинг рівня ґрунтових вод є обов'язковим елементом експлуатації меліоративних систем [1-3].

1.4. Ґрунтово-меліоративні умови

Ґрунтовий покрив Покровської селищної громади сформувався під впливом степової рослинності на лесових породах і представлений переважно чорноземами звичайними (за міжнародною класифікацією – *Typic Chernozems*). Це один з найродючіших типів ґрунтів в Україні та світі, який має величезний потенціал для сільськогосподарського виробництва, що може бути повністю реалізований виключно за умови оптимального зволоження [1-3].

Чорноземи звичайні в районі досліджень характеризуються глибоким гумусовим профілем. Потужність гумусового горизонту (Н+Н_р) досягає 70-85 см. Вміст гумусу у верхньому (орному) шарі становить 4,5-5,5%, що забезпечує високу ємність вбирання та хорошу буферність ґрунту. Реакція ґрунтового розчину (рН) є нейтральною або слабколужною (7,0–7,4), що є оптимальним показником для більшості сільськогосподарських культур.

За гранулометричним складом місцеві ґрунти належать переважно до важкосуглинкових та легкосуглинкових. Такий гранулометричний склад зумовлює високу вологоємність ґрунтів, але водночас їх відносно низьку водопроникність. Швидкість інфільтрації (вбирання води ґрунтом) для важкосуглинкових чорноземів становить у середньому 0,05–0,15 мм/хв. Цей гідрофізичний параметр є критично важливим для проектування технології зрошення. Якщо інтенсивність поливу дощувальними машинами буде перевищувати швидкість інфільтрації ґрунту, це неминуче призведе до утворення поверхневого стоку, руйнування ґрунтових агрегатів та розвитку іригаційної ерозії, особливо на ділянках із похилом.

Меліоративний стан ґрунтів на даний момент оцінюється як задовільний, проте присутні певні ризики. З огляду на мінералізацію води річки, зрошення чорноземів звичайних може спровокувати процеси

осолонцювання (заміщення іонів кальцію в ґрунтовому вбирному комплексі на іони натрію). Осолонцювання призводить до пептизації ґрунтових колоїдів: ґрунт втрачає свою цінну зернисто-грудкувату структуру, стає в'язким у вологому стані та утворює тверду кірку при висиханні. Для запобігання деградації ґрунтів у проекті організації робіт необхідно передбачити не лише будівництво водопровідної мережі, але й заходи з хімічної меліорації (періодичне внесення гіпсу чи фосфогіпсу) для нейтралізації натрію. Крім того, під час виконання земляних робіт (копання траншей для трубопроводів) обов'язковою вимогою є роздільне знімання, тимчасове складування та подальша рекультивація верхнього родючого шару ґрунту (гумусового горизонту). Змішування родючого шару з материнською породою під час зворотної засипки траншей є грубим порушенням екологічних та будівельних норм [1-3].

1.5. Інженерно-геологічні умови ділянки будівництва

Геолого-літологічний розріз по трасах напірних трубопроводів, які підлягають капітальному ремонту, детально вивчений за результатами буріння інженерно-геологічних свердловин. Послідовність залягання літологічних шарів з поверхні вглиб представлена такими відкладеннями:

- 1) Ґрунтово-рослинний шар: залягає з денної поверхні, має повсюдне поширення та середню потужність 0,5 м.
- 2) ІГЕ-1 (Дофіновський горизонт): верхньочетвертинні елювіальні відкладення, представлені суглинками середніми, коричнюватими, напівтвердої консистенції. Потужність шару варіює в межах 3,4–3,5 м.
- 3) ІГЕ-2 (Бугський горизонт): верхньочетвертинні еолово-делювіальні відкладення, що залягають нижче. Представлені суглинками легкими, світло-коричневими (жовтувато-коричневими), напівтвердими та

макропористими. Потужність шару становить 0,8–0,9 м.

- 4) ІГЕ-3 (Прилуксько-кайдакський горизонт): середньо-верхньочетвертинні елювіальні відкладення, представлені суглинками середніми, коричнюватими, консистенція яких змінюється від напівтвердої до пластичної. Потужність відкладень досягає 2,7 м.
- 5) ІГЕ-4 (Дніпровський горизонт): середньочетвертинні еолово-делювіальні відкладення, представлені суглинками легкими, палево-жовтими, напівтвердої та пластичної консистенції, макропористими. Потужність горизонту становить 2,8 м.

Із глибини 10,3 м літологічна товща суглинкових відкладень підстиляється дрібнозернистими алювіальними пісками, які є базовою літологічною основою району. Для обґрунтування стійкості стінок траншей та розрахунку тиску на трубопроводи ПЕ-100 обґрунтовані фізико-механічні властивості виділених інженерно-геологічних елементів (ІГЕ). Повні розрахункові характеристики ґрунтів наведені в узагальненій таблиці 1.1.

Гідрогеологічні умови та характеристики мінералізації. Ґрунтові води в межах досліджуваної ділянки зрошувальної системи залягають на відносно великій глибині, яка становить 10 м від поверхні землі. Водонесний горизонт приурочений до залягаючих нижче алювіальних відкладень. За хімічним складом підземні води, що циркулюють у лесових відкладеннях, класифікуються як гідрокарбонатно-сульфатно-натрієво-магнієвого типу. Загальний вміст розчинених солей (сухий залишок) становить 1,4 г/л, що свідчить про помірну мінералізацію. Проведеними інженерно-хімічними аналізами встановлено, що дані води є неагресивними стосовно бетонів, виготовлених на звичайному нессульфатостійкому цементі. Основне живлення водонесного горизонту має інфільтраційний характер і відбувається за рахунок просочування атмосферних опадів та зрошувальних вод.

Оцінка фільтраційної здатності літологічних шарів показує, що основними водомісткими та високопроникними породами в природних

умовах є дрібнозернисті алювіальні піски, коефіцієнт фільтрації яких становить 3,0 м/добу. Товща суглинків, що перекриває піщану основу, характеризується значно нижчою водопроникністю: для легких суглинків (ІГЕ-2, ІГЕ-4) коефіцієнт фільтрації становить 0,5 м/добу, а для середніх суглинків (ІГЕ-1, ІГЕ-3) знижується до 0,3 м/добу.

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні та гідрофізичні властивості ґрунтів будівельного майданчика

Найменування показника властивостей ґрунту	Один. вим.	ІГЕ-1 (суглинок середній)	ІГЕ-2 (суглинок легкий)	ІГЕ-3 (суглинок середній)	ІГЕ-4 (суглинок легкий)
Коефіцієнт пористості, e	д.в.	0,841	0,848	0,855	0,926
Щільність вологого ґрунту, ρ	г/см ³	1,66	1,63	1,68	1,56
Щільність сухого ґрунту (скелета), ρ_d	г/см ³	1,46	1,44	1,45	1,39
Щільність часток ґрунту, ρ_s	г/см ³	2,69	2,68	2,69	2,68
Кут внутрішнього тертя, φ	град.	21°	14°	15°	12°
Питоме зчеплення ґрунту, c	кг/см ²	0,21	0,13	0,15	0,12
Модуль деформації основи, E	кг/см ²	140	110	100	100
Природна вологість, W	%	—	13,1%	—	—
Коефіцієнт фільтрації ґрунту, k_f	м/добу	0,3	0,5	0,3	0,5

Будівельна класифікація ґрунтів за просадністю та складністю розробки. Лесові суглинки території будівельного майданчика в умовах природного залягання за типом деформації при зволоженні відносяться до першого (І) типу ґрунтових умов за просадністю. Це означає, що просадка від

власної ваги ґрунту при замовчуванні не перевищує 5 см, а можливі деформації можуть проявитися лише у разі виникнення додаткового зовнішнього навантаження (наприклад, від важких споруд або опор). За складністю розробки землерийними механізмами (зокрема, бульдозером і одноківшевыми гідравлічними екскаваторами) та згідно з класифікацією, досліджувані ґрунти розподіляються на дві основні групи:

- 1) До I групи розробки відносяться: поверхневий ґрунтово-рослинний шар (гумус), суглинки у пластичному стані, а також підстилаючі алювіальні піски.
- 2) До II групи розробки відносяться: суглинки середні та легкі у напівтвердому і твердому стані (зокрема, шари ІГЕ-1, ІГЕ-2 та напівтверді різновиди ІГЕ-3, ІГЕ-4), які потребують підвищених зусиль при копанні ковшем.

1.6. Характеристика існуючого водогосподарського комплексу та обґрунтування будівництва

Історія розвитку меліорації в Дніпропетровській області та її районах сягає 70-80-х років минулого століття. У радянський період на цих територіях були побудовані масштабні зрошувальні системи, що базувалися на відкритих бетонних каналах, громіздких стаціонарних насосних станціях і використанні дощувальних машин типу «Фрегат» і «Волжанка». Однак, за роки незалежності через брак фінансування та моральне старіння обладнання більшість цих систем вийшли з ладу. Металеві трубопроводи піддалися корозії та були частково демонтовані, залізобетонні лотки каналів зруйнувалися, що призвело до втрат води на фільтрацію до 40-50% [1-3].

Сучасний стан існуючої водогосподарської інфраструктури Покровської громади не здатний задовольнити потреби аграрного сектору в умовах глобальних кліматичних змін та зростання посушливості клімату.

Використання застарілих енергоємних насосних агрегатів робить собівартість поливу економічно нерентабельною для сільгоспвиробників.

Обґрунтування будівництва нової зрошувальної мережі базується на таких техніко-економічних чинниках:

- необхідність впровадження енергоефективних технологій: заміна сталевих і азбестоцементних труб на сучасні поліетиленові (ПЕ-100), що мають строк служби понад 50 років, не піддаються корозії і мають мінімальний гідравлічний опір;
- впровадження систем закритого типу, які повністю виключають втрати води на випаровування та фільтрацію на шляху транспортування від джерела до поля;
- перехід на низьконапірні поливні системи (сучасні дощувальні машини), що дозволяє знизити робочий тиск у мережі і, відповідно, скоротити витрати електроенергії на насосних станціях;
- автоматизація процесів водорозподілу за допомогою сучасних контролерів, електромагнітних клапанів та систем диспетчеризації.

Згідно з ДБН В.2.4-1-99, проектування меліоративних об'єктів повинно передбачати комплексне використання водних і земельних ресурсів з дотриманням вимог охорони навколишнього природного середовища. Реалізація проекту організації та технології будівництва нової зрошувальної мережі у Покровській громаді дозволить гарантовано підвищити врожайність зернових і технічних культур у 1,5-2 рази, перетворити зону ризикованого землеробства на зону стабільного агровиробництва, створити нові робочі місця під час будівництва та експлуатації об'єкта, а також суттєво зміцнити економічний потенціал громади в цілому.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Експлікація зрошуваних площ та вибір типу зрошувальної мережі

Відповідно до інженерно-геодезичних вишукувань та агротехнічних вимог, об'єктом проєктування є масив сільськогосподарських угідь, який потребує впровадження сучасних енергоефективних технологій штучного зволоження. Для забезпечення раціонального використання земельних і водних ресурсів було проведено просторовий аналіз контурів полів та розроблено експлікацію зрошуваних площ. Проєктом передбачається введення в експлуатацію двох масивів (рис. 2.1) з різними сільськогосподарськими культурами (кукурудза на зерно та соя), які мають високу рентабельність при вирощуванні на поливі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Експлікація сільськогосподарських площ

Номер поля	Сільсько-господарська культура	Загальна площа поля, га	Площа під зрошенням, га	Тип дощувальної машини (ДМ)
Поле №1	Кукурудза на зерно	166,10	116,95	Кругової дії (Pivot)
Поле №2	Соя	187,40	138,50	Фронтальної дії (Liner)
Разом		353,50	255,45	-

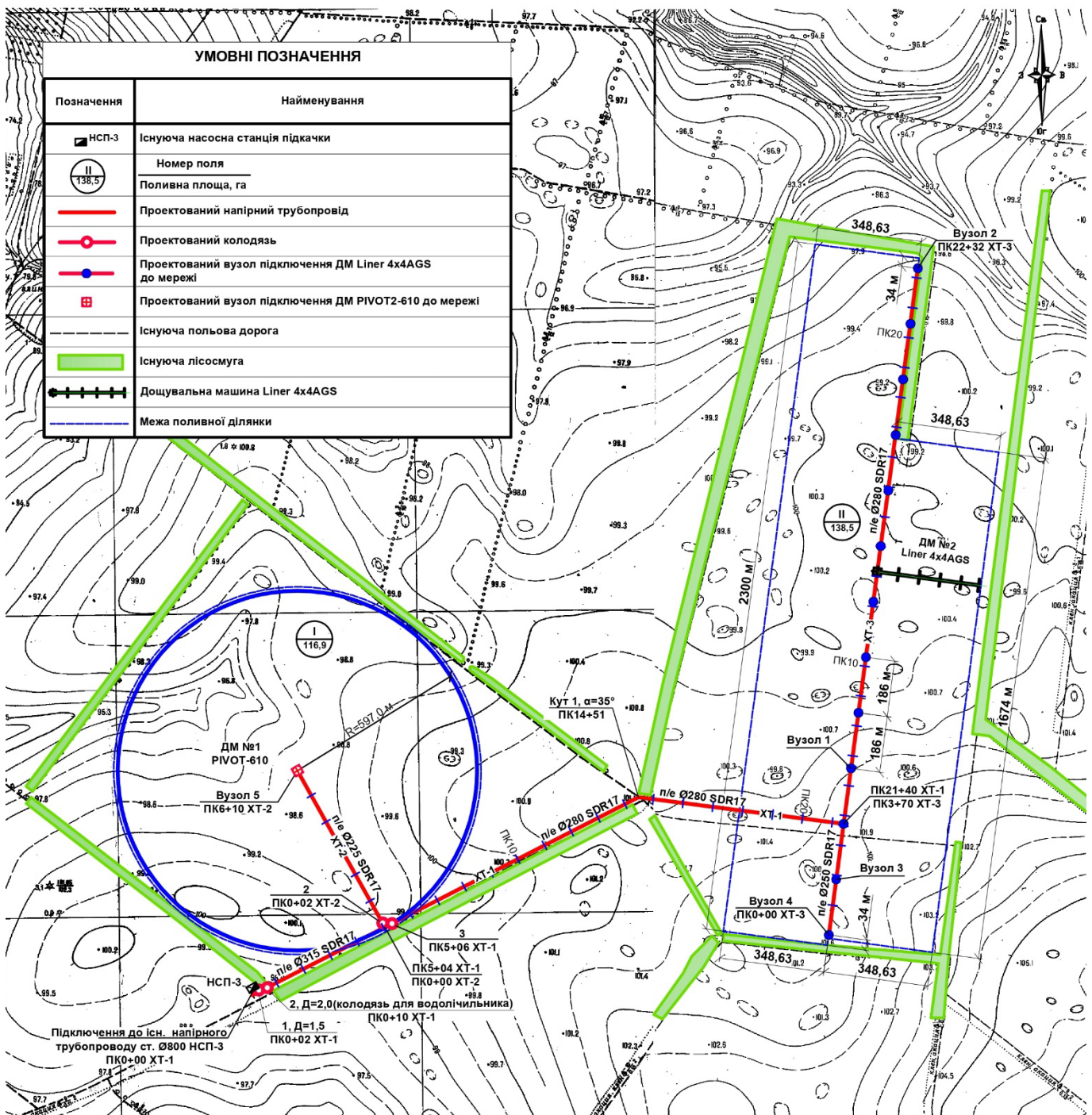


Рисунок 2.1 – План ділянки будівництва системи зрошення

З огляду на техніко-економічні показники та жорсткі вимоги державних будівельних норм, для обслуговування вказаних площ обрано закриту напірну трубопровідну зрошувальну мережу. Такий тип транспортування води повністю виключає її втрати на випаровування та

глибинну фільтрацію. Для будівництва водоводів обрано поліетиленові труби високої щільності ПЕ-100 зі стандартним розмірним відношенням SDR 17 (робочий тиск PN 10). Їх застосування є оптимальним, оскільки поліетилен не піддається електрохімічній корозії, має мінімальний гідравлічний опір (шорсткість труб з часом не збільшується) та розрахований на термін експлуатації понад 50 років [4-7].

Кількість обслуговуючого персоналу для експлуатації запроектованих споруд становить 3 чоловіка, у тому числі:

- ✓ інженер-гідротехнік – 1 людина;
- ✓ оператори дощувальних машин – 2 людини.

2.2. Обґрунтування типу та конструкції дощувальних машин

Вибір дощувальної техніки здійснювався диференційовано, враховуючи геометрію полів, необхідну норму поливу, швидкість вбирання води ґрунтом та економічну доцільність. Для поля №1, контур якого наближений до квадратного, запроектовано використання стаціонарної дощувальної машини кругової дії Pivot. Для поля №2, яке має витягнуту прямокутну форму, найбільш ефективною є машина фронтальної (іподромної) дії Rain Liner з можливістю автоматичного розвороту та зворотного ходу (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Характеристики дощувальних машин

Найменування параметра	ДМ кругової дії PIVOT (Поле №1)	ДМ фронтальної дії Rain Liner 4x4 (Поле №2)
Тип та конфігурація	Стационарна кругової дії	Самохідна фронтальної (іподромної) дії
Основні габарити	Загальна довжина (радіус поливу): 610,13 м	Ширина захвату: 348,63 м (до візка 298,5 м + консоль 25,13 м)
Структура прольотів	10 секцій по 59,7 м + консоль 13,13 м. Діаметр труб: 168 мм та 193 мм	5 секцій по 59,7 м
Робочі параметри та площа	Кут обертання 360° Площа поливу: 116,95 га Час одного кола: 116,95 год (при мін. нормі, швидкість 20,8%)	Хід машини вздовж поля: 4000 м Площа зрошення: 139,45 га
Гідравлічні показники	Витрата: 55,6 л/с (200 м³/год) Тиск на гідранті: ~45,0 м.в.ст.	Витрата: 55,6 л/с (200 м³/год) Тиск на гідранті: ~45,0 м.в.ст.
Енергетичне обладнання	Дизель-генераторна установка 2Gareni 16 кВт	Дизель-генераторна установка 2Gareni 20 кВт
Особливості конструкції	Кліренс: 3,10 м. Розпилювачі типу i-Wob з регуляторами тиску (на гнучких шлангах, висота 2,9 м)	Платформа 4×4. Система вирівнювання «Double Action» (подвійний трос). Живлення: шланг високого тиску (100 м) від гідрантів
Система управління	Автоматизована шафа Schneider	Комп'ютерний контролер AGS з кольоровим екраном

2.3. Гідравлічний розрахунок трубопроводів та визначення оптимальних діаметрів

Гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі є одним із ключових етапів проєктування. Його головна мета – підбір таких діаметрів трубопроводів, які б забезпечували транспортування необхідних витрат води за умови підтримання швидкостей потоку в економічно доцільних межах (0,8...2,0 м/с). Зменшення діаметра призводить до різкого зростання витрат напору та перевитрат електроенергії на насосній станції, тоді як необґрунтоване збільшення діаметра суттєво підвищує капітальні витрати на будівництво [4-7].

Втрати напору по довжині поліетиленових трубопроводів визначаються за класичною формулою:

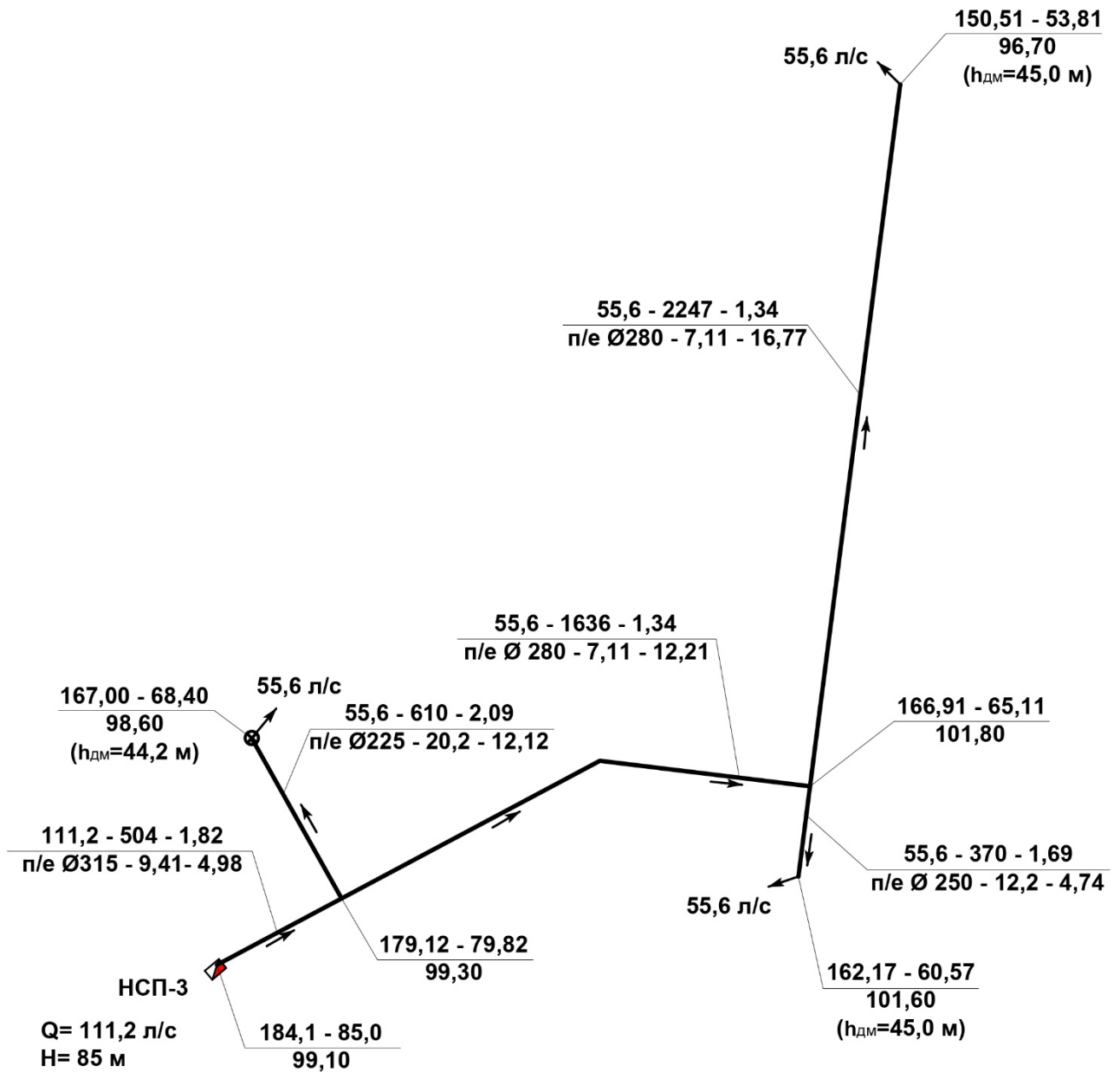
$$h_l = \lambda \cdot (L / d_{\text{вн}}) \cdot (v^2 / 2g), \quad (2.1)$$

де h_l – втрати напору по довжині, м; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; L – довжина ділянки, м; $d_{\text{вн}}$ – внутрішній розрахунковий діаметр труби, м; v – середня швидкість течії рідини, м/с; g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с²).

Розрахункова витрата води кожної дощувальної машини становить 55,6 л/с. Загальна розрахункова витрата магістрального трубопроводу (від насосної станції до вузла розгалуження) для одночасної роботи обох машин дорівнює сумі витрат: $Q_{\text{заг}} = 111,2$ л/с. Результати розрахунків для всіх проєктних ділянок мережі зведено у таблицю 2.3 і рис. 2.2.

Таблиця 2.3 – Гідравлічний розрахунок системи

Ділянка мережі	Витрата (Q), л/с	Труба (ПЕ-100), мм	Довжина (L), м	Швидкість (v), м/с	Гідра- влічний похил (1000i)	Втрати напору (h _л), м
Магістральний водовід (від НСП до розгалуження)	111,2	Ø 315	504	1,82	9,41	4,98
Відгалуження до ДМ Pivot (ділянка 1)	55,6	Ø 250	370	1,69	12,20	4,74
Відгалуження до ДМ Pivot (ділянка 2)	55,6	Ø 225	610	2,09	20,20	12,12
Відгалуження до ДМ Liner (ділянка 1)	55,6	Ø 280	1636	1,34	7,11	12,21
Відгалуження до ДМ Liner (ділянка 2)	55,6	Ø 280	2247	1,34	7,11	16,77



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- $\frac{55,6 - 610 - 2,09}{п/е \text{ } \varnothing 225 - 20,2 - 12,12}$ - розрахункова витрата, л/с - довжина ділянки, м - швидкість, м/с
матеріал, діаметр труб - 1000і, м - Δh, м
- $\frac{179,12 - 79,82}{99,30}$ - відмітка гідродинамічного напору, м - вільний напір, м
відмітка поверхні землі, м

Рисунок 2.2 – Схема до гідравлічного розрахунку поливної системи

2.4. Насосна станція підкачки

Джерелом тиску у спроектованій системі виступає діюча насосна станція підкачки (НСП, яка територіально розташована поруч із регулюючим басейном. Для забезпечення нормальної роботи дощувальних машин насосна станція повинна подолати різницю геодезичних відміток, компенсувати лінійні та місцеві втрати напору, а також забезпечити вільний залишковий напір безпосередньо біля гідрантів підключення машин [4-7]. Загальний необхідний напір НСП визначається за формулою:

$$H_{НСП} = \Delta Z + \Sigma h_l + \Sigma h_m + H_{AM}, \quad (2.2)$$

де ΔZ – геометрична висота підйому води; Σh_l – сумарні втрати по довжині; Σh_m – сумарні місцеві втрати у фасонних частинах та арматурі; H_{AM} – вільний (робочий) напір дощувальної машини (45,0 м.в.ст.).

Згідно з виконаним розрахунком, сумарний розрахунковий напір станції становить $H = 85$ м при продуктивності $Q = 111,2$ л/с (або $0,1112$ м³/с). Споживана потужність насосних агрегатів визначається співвідношенням:

$$N = (\rho \cdot g \cdot Q \cdot H) / (1000 \cdot \eta), \quad (2.3)$$

де ρ – густина води (1000 кг/м³); η – загальний коефіцієнт корисної дії насосного агрегату (приймається в межах $0,75$ – $0,80$). Для досягнення

максимальної енергоефективності при змінних режимах водоспоживання (наприклад, під час роботи лише однієї ДМ) двигуни насосних агрегатів НСП обладнуються частотними перетворювачами, що дозволяє плавно регулювати робочий тиск і нівелювати ризики гідравлічних ударів.

$$N = (1000 \cdot 9,81 \cdot 0,1112 \cdot 85) / (1000 \cdot 0,8) = 92724 / 800 = 115 \text{ кВт}$$

2.5. Специфікація арматури та споруд на мережі

Конструктивна надійність зрошувальної системи забезпечується застосуванням стандартизованих вузлів підключення та регулювання (рис. 2.3, 2.4). Вузли влаштовуються в оглядових колодязях. Запроєктовано 13 точок підключення (гідрантів) для гнучкого шланга машини Liner та центру Pivot (рис. 2.5, 2.6). Поворотні ділянки трубопроводів закріплюються бетонними упорами УГ-21 (об'єм бетону 1,32 м³ на упор) для захисту мережі від поздовжніх зсувів. Нижче наведена повна інтегрована специфікація труб, фасонних частин та запірної арматури (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Специфікація конструктивних елементів та фасонних частин

№ з/п	Найменування та технічна характеристика	Один. виміру	Кількість
1. Труби та з'єднувальні деталі поліетиленові (ПЕ-100 SDR 17)			
1.1	Труби поліетиленові ПЕ-100 Ø315	м	496
1.2	Труби поліетиленові ПЕ-100 Ø280	м	3498
1.3	Труби поліетиленові ПЕ-100 Ø250	м	370
1.4	Труби поліетиленові ПЕ-100 Ø225	м	610
1.5	Трійник ПЕ Ø315х315	шт.	1
1.6	Трійник ПЕ Ø280х280	шт.	1
1.7	Перехід ПЕ Ø315х225	шт.	1
1.8	Перехід ПЕ Ø280х250	шт.	1
1.9	Відвід ПЕ Ø280, $\alpha=30^\circ$	шт.	1
1.10	Буртова втулка ПЕ Ø315	шт.	2
1.11	Буртова втулка ПЕ Ø280	шт.	22
1.12	Буртова втулка ПЕ Ø250	шт.	3
1.13	Буртова втулка ПЕ Ø225	шт.	3
2. Запірно-регулююча та вимірювальна арматура			
2.1	Заслінка поворотна "Батерфляй" Ø300	шт.	2
2.2	Заслінка поворотна "Батерфляй" Ø250	шт.	1
2.3	Заслінка поворотна "Батерфляй" Ø200	шт.	1
2.4	Засувка чавунна фланцева (30ч6бр) Ø100	шт.	1
2.5	Гідрант 6" фланцевий (для ДМ)	шт.	13
2.6	Регулятор тиску Ø200	шт.	1
2.7	Фільтр магістральний Ø200	шт.	1

№ з/п	Найменування та технічна характеристика	Один. виміру	Кількість
2.8	Вантуз автоматичний повітряний (КВ-100) Ø100	шт.	1
2.9	Кран кульовий Ø50 / Ø25	шт.	1 / 1
2.10	Трьохходовий кран Ø15	шт.	1
2.11	Манометр	шт.	1
2.12	Лічильник ультразвуковий Ергомера 125-БВ-Б11-ДН600	компл.	1
3. Сталеві фасонні частини			
3.1	Патрубок ст. Ø325x8 (L=0,5 м)	шт.	11
3.2	Патрубок ст. Ø273x8 (L=2,5 м – 1 шт; L=0,5 м – 2 шт)	шт.	3
3.3	Патрубок ст. Ø219x6 (L від 0,3 м до 2,0 м)	шт.	7
3.4	Патрубок ст. Ø159x6 (L=1,5 м)	шт.	13
3.5	Перехід ст. Ø200x100	шт.	1
3.6	Відвід ст. Ø200, $\alpha=90^\circ$	шт.	1
3.7	Фланець сталевий (приварний та вільний) Ø300	шт.	48
3.8	Фланець сталевий (приварний та вільний) Ø250	шт.	7
3.9	Фланець сталевий Ø200 / Ø150 / Ø100	шт.	2 / 11 / 1
3.10	Штуцер ст. з різьбою Ø50 / Ø25 / Ø15	шт.	1 / 1 / 2
3.11	Заглушка ст. Ø300 / Ø250 / Ø200	шт.	1 / 2 / 2
3.12	Бетонний упор УГ-21 (V = 1,32 м³)	шт.	3
3.13	Опора із ст. труб Ø150, L=0,3 м	шт.	2

МОНТАЖНА СХЕМА

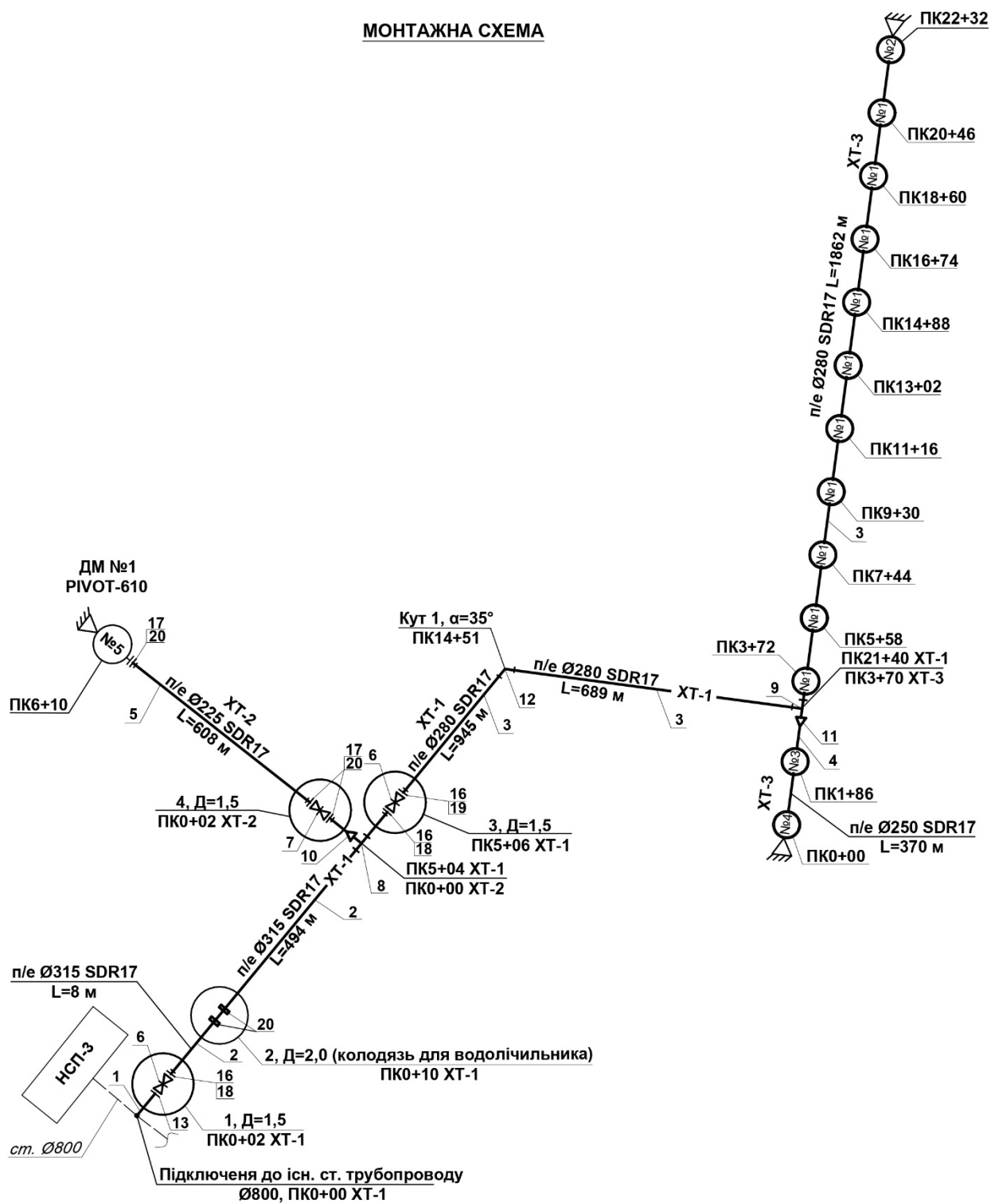


Рисунок 2.3 – Монтажна схема системи

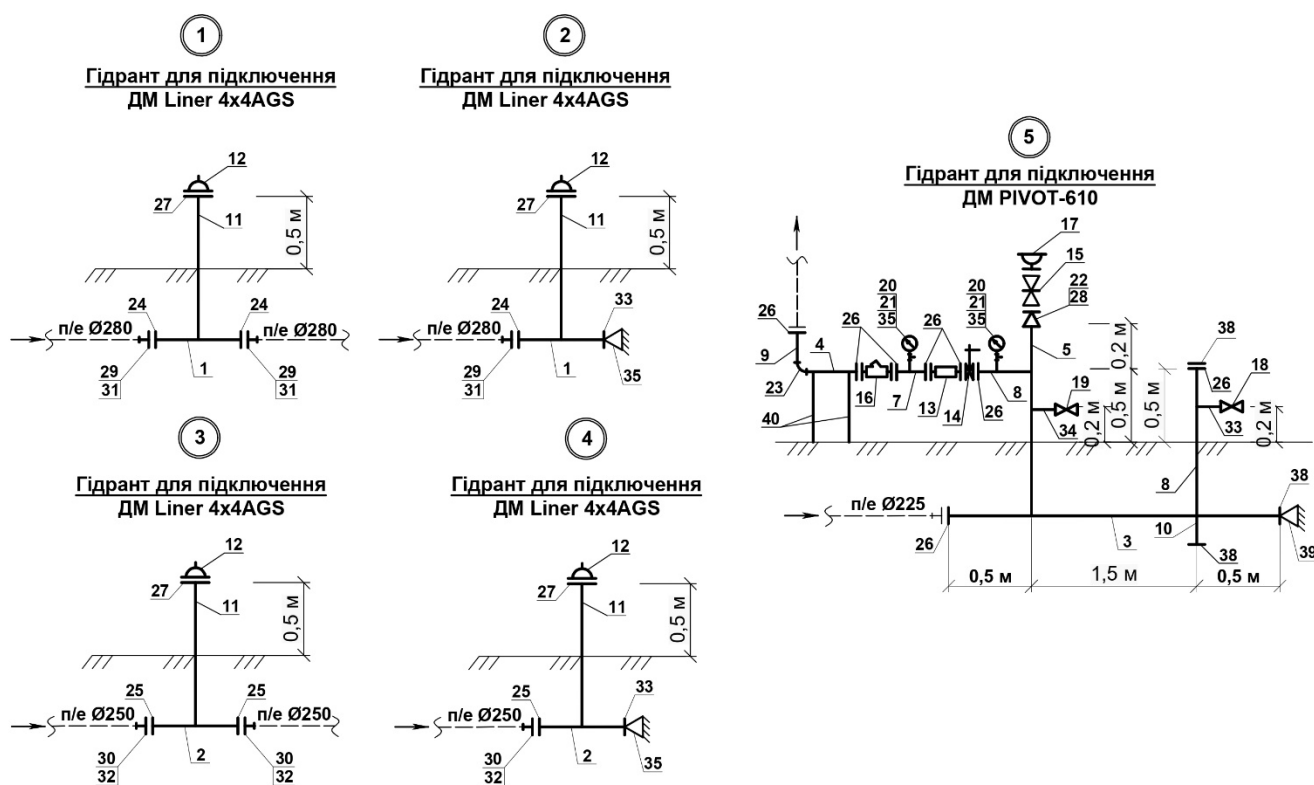


Рисунок 2.4 – Деталювальна схема підключення вузлів

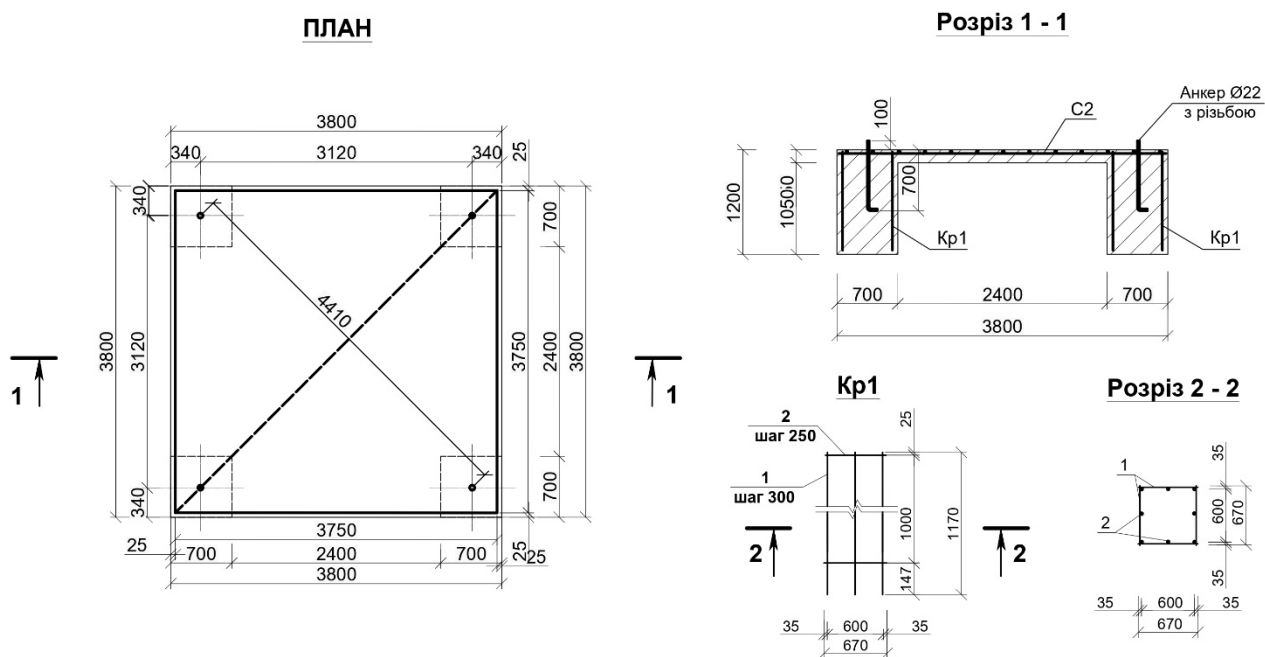


Рисунок 2.5 – Монтажна схема бетонування опорної плити

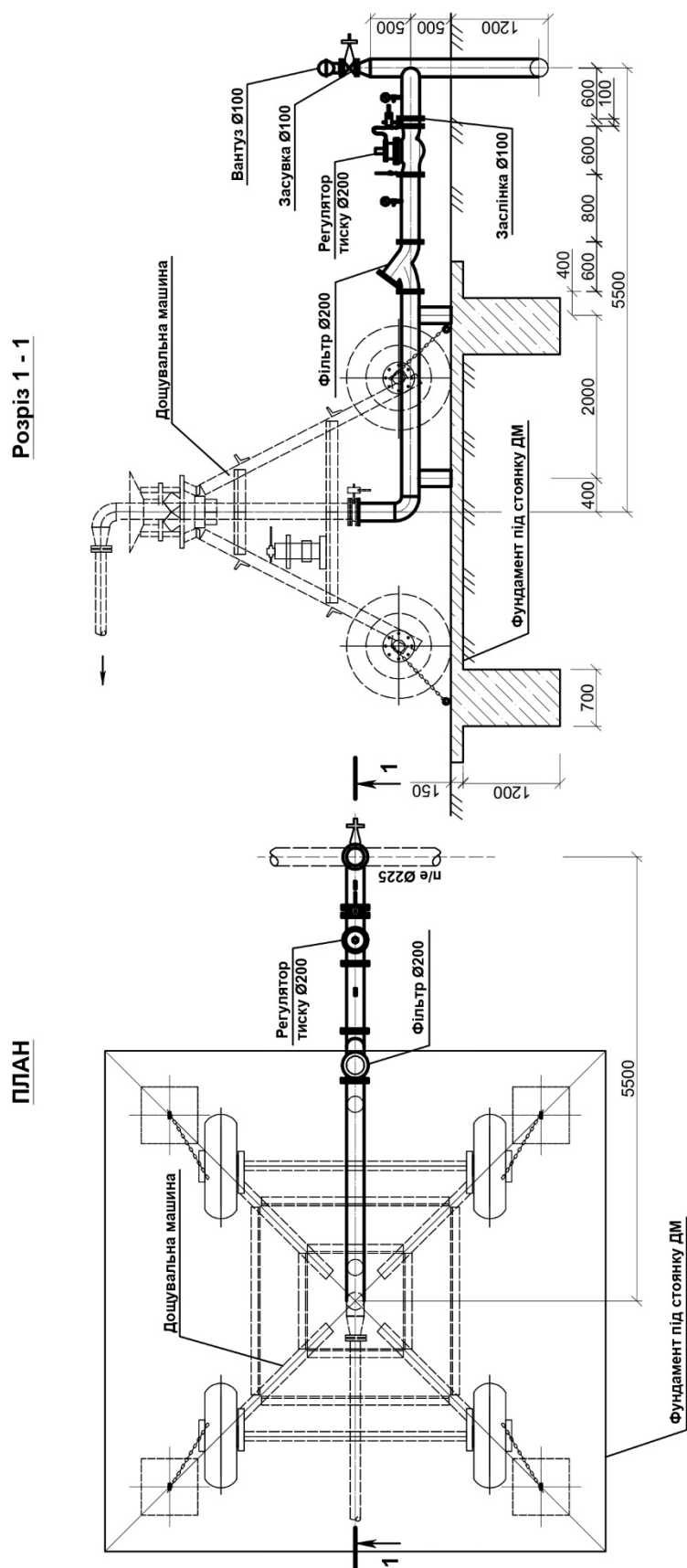


Рисунок 2.6 – Монтажна схема опори для підключення ДМ Pivot

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ

3.1. Підготовчий період (геодезична розбивка траси, розчищення території)

Будівництво закритої зрошувальної мережі для обслуговування масивів Покровської селищної громади Синельниківського району Дніпропетровської області розпочинається з комплексу робіт підготовчого періоду. Цей етап регламентується вимогами ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва» та є базою для забезпечення нормативного темпу і належної якості наступних будівельно-монтажних процесів. Головною метою підготовчого періоду є створення необхідних умов для безпечного, безперебійного та технологічно правильного виконання земляних і монтажних робіт на об'єкті [8-12].

До початку основних будівельних дій виконується інженерна підготовка території, що включає розчищення смуги відведення вздовж проєктних трас трубопроводів. Загальна протяжність мережі, що підлягає монтажу, складає понад 8,7 кілометрів (включаючи 504 м магістрального водоводу Ø315 мм, 5745 м розподільчих ліній Ø280 мм для фронтальної машини Rain Liner та 980 м ліній Ø250/Ø225 мм для кругового Pivot). По всій довжині цих трас проводиться очищення території від залишків деревно-чагарникової рослинності, каменів та інших сторонніх предметів, які можуть заважати руху важкої землерийної техніки.

Враховуючи, що ґрунтовий покрив району будівництва представлений високородючими чорноземами звичайними, особлива увага при розчищенні приділяється збереженню родючого шару. До початку копання траншей у

межах розчищеної технологічної смуги виконується зняття гумусового шару ґрунту завтовшки 0,4–0,5 м за допомогою бульдозерів на базі гусеничних тракторів (рис. 3.1). Знятий родючий ґрунт переміщується у спеціально відведені тимчасові кавальєри (відвали) з одного боку майбутньої траншеї на відстані не менше 1,5 м від її брівки. Це виключає його змішування з мінеральним ґрунтом (лесоподібними суглинками), який буде вилучатися екскаватором з нижчих горизонтів виїмки [8-12].

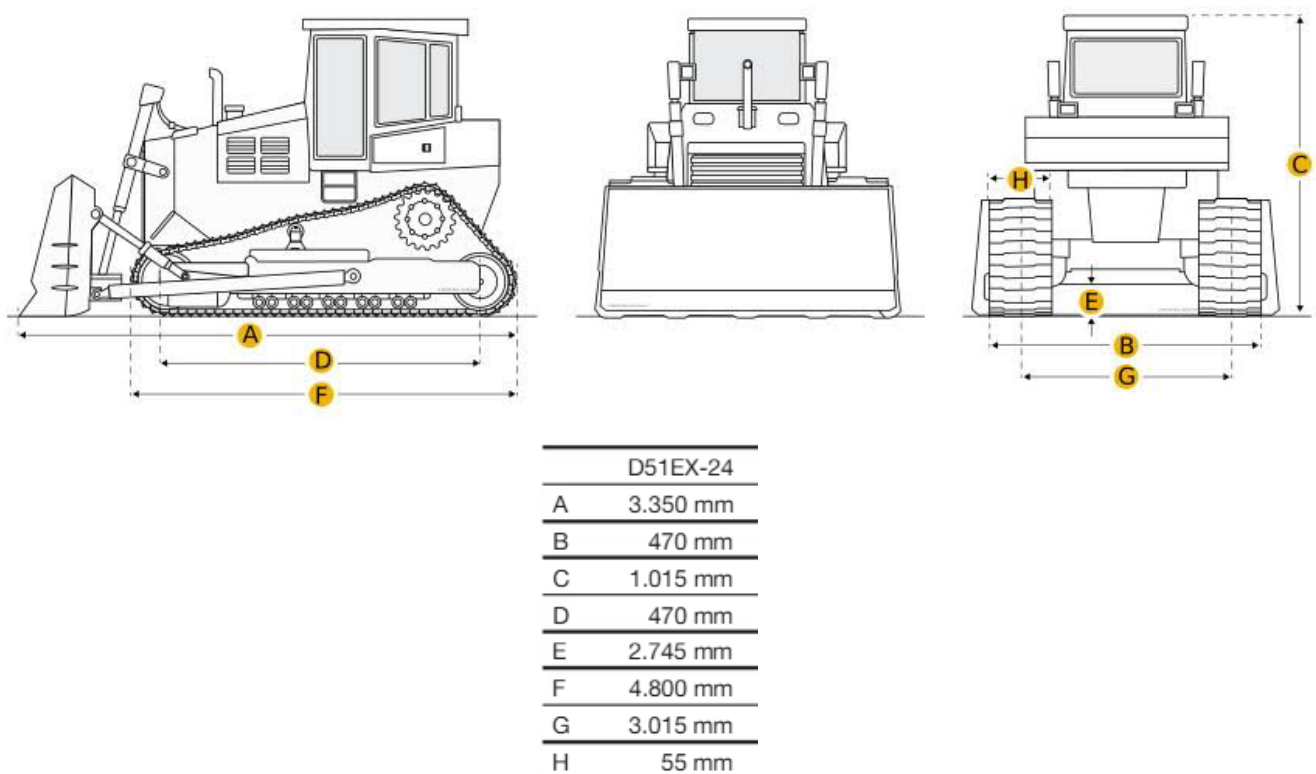


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд та технічні параметри
бульдозера Komatsu D51EX-24

Паралельно з розчищенням території виконується геодезична розбивка траси трубопроводів, що полягає у перенесенні проєктних рішень з креслень на натуру (місцевість). Геодезичні роботи проводяться інженерно-технічним персоналом з використанням високоточних електронних тахеометрів та супутникових приймачів у режимі реального часу. Основою для розбивки є координатна сітка та геодезичні опорні

пункти, закріплені на території Покровської громади. Процес геодезичної розбивки включає наступні операції [8-12]:

- 1) Винесення в натуру та закріплення на місцевості осі головного магістрального водоводу завдовжки 504 м від діючої насосної станції підкачки НСП до першого вузла розгалуження (трійника ПЕ Ø315x315).
- 2) Розбивка та трасування розподільчих ліній поля №1 під кругову машину Pivot (ділянки довжиною 370 м, Ø250 мм та 610 м, Ø225 мм), а також точне визначення геодезичного центру фіксації пілона машини.
- 3) Трасування та розбивка ліній поля №2 під фронтальну машину Rain Liner (дві паралельні та послідовні гілки Ø280 мм довжиною 1636 м та 2247 м), вздовж яких виконуватиметься лінійне переміщення рампи на відстані 4000 м.
- 4) Закріплення на місцевості центрів 13 оглядових залізобетонних колодязів, у яких передбачено монтаж фланцевих гідрантів та запірно-регулюючої арматури, а також місць спорудження 3 бетонних упорів на поворотах і розгалуженнях мережі.

Всі розбивочні осі та кути повороту закріплюються надійними дерев'яними або металевими кілками з виносними віхами та інформаційними закладами. Складається офіційний акт геодезичної розбивки траси з додаванням виконавчих схем, який підписується представниками будівельної організації та технагляду замовника. Тільки після цього підготовчий період вважається завершеним, і об'єкт передається під розробку виїмок.

3.2. Технологія земляних робіт

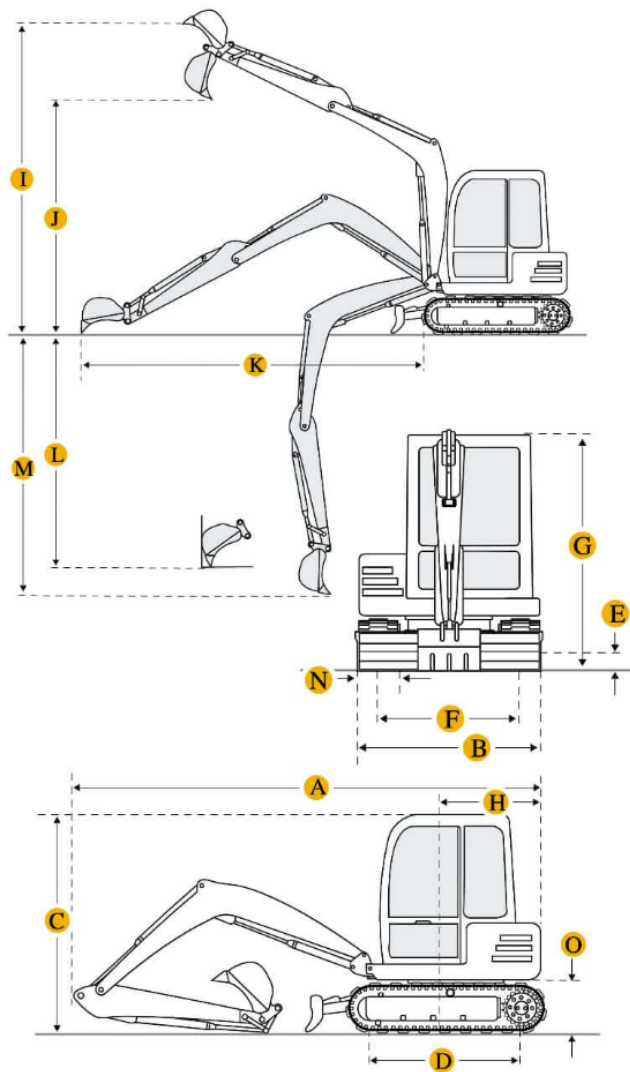
Земляні роботи при будівництві напірної мережі Покровської громади є найбільш трудомісткими і виконуються механізованим способом із мінімальною часткою ручної праці. Комплексний технологічний процес включає розробку траншей, підготовку дна (основи) під трубопроводи, а

також зворотну засипку виїмок після укладання і попереднього випробування труб з ущільненням ґрунту до нормативної щільності [8-12].

Оскільки розрахункова глибина промерзання ґрунту в районі становить 0,8–1,0 м, з метою захисту поліетиленових трубопроводів від замерзання залишкової води в зимовий період та запобігання пошкодженню від важкої агротехніки (тракторів, комбайнів під час обробітку полів кукурудзи та сої), глибина укладання труб проєктується з розрахунку, щоб відстань від денної поверхні землі до верху труби була не меншою за 1,2 м. Таким чином, загальна глибина траншей з урахуванням діаметрів труб ПЕ-100 (Ø315 мм, Ø280 мм, Ø250 мм, Ø225 мм) та товщини підстиляючого шару коливається в межах 1,55–1,65 м.

Розробка траншей виконується одноковшовими гідравлічними екскаваторами (Komatsu PC30 або аналогами) з місткістю ковша 0,3–0,5 м³, обладнаними зворотньою лопатою (рис. 3.2). Розробка ведеться «ввідвал» з одного боку траншеї (протилежного від кавальєра з гумусом). З огляду на те, що мінеральні ґрунти на глибині понад 0,6 м представлені суглинками важкими, для запобігання зсувам та обваленню стінок, траншеї розробляються з укосами. Для суглинків при глибині виїмки до 1,5-2,0 м крутизна укосів приймається у співвідношенні 1:0,5. Ширина траншеї по дну приймається рівною $b = d + 0,5$ м, що забезпечує вільний простір (по 25-30 см з кожного боку труби) для зручності монтажників та якісного ущільнення пазах під час засипки. Екскаватор здійснює розробку з недобором до проєктної відмітки дна на 5–10 см. Цей залишковий шар доопрацьовується вручну безпосередньо перед укладанням труб, що дозволяє зберегти природну щільність основи і уникнути розпушення ґрунту під трубою. Наступним етапом є влаштування постелі під труби. Для захисту стінок поліетиленових труб ПЕ-100 SDR 17 від механічних пошкоджень гострими включеннями ґрунту (камені, тверді грудки), на зачищене дно траншеї влаштовується підстиляючий шар (постіль) із піску або просіяного

дрібнозернистого ґрунту товщиною 10 см. Постіль ретельно вирівнюється відповідно до проєктного похилу мережі [8-12].



Параметр	Значення
Робочий діапазон	
Транспортна довжина	4880 мм
Макс. висота копання	3955 мм
Транспортна висота	2335 мм
Макс. висота навантаження	2645 мм
Макс. радіус копання	4850 мм
Макс. глибина вертикальної стінки котловану	2155 мм
Макс. глибина копання	3060 мм
Розміри стріли / рукояті	1365 мм
Розміри та габарити	
Ширина ходової частини	1575 мм
Довжина опорної поверхні гусениць	1575 мм
Дорожній просвіт (кліренс)	305 мм
Висота до верху кабіни	2335 мм
Радіус повороту хвостової частини	1450 мм
Просвіт під поворотною платформою	570 мм
Ходова частина	
Розмір башмака	300 мм
Ширина колії	1400 мм
Тиск на ґрунт	26,21 кПа
Максимальна швидкість ходу	2,1 км/год
Двигун	
Виробник двигуна	Komatsu
Модель двигуна	3D84-1B
Повна потужність двигуна	19,6 кВт
Робочий об'єм	1,5 л
Експлуатаційні характеристики	
Експлуатаційна маса	3197,9 кг
Об'єм паливного бака	40 л
Об'єм гідросистеми	50 л
Тиск запобіжного клапана гідросистеми	17168 кПа
Продуктивність гідравлічного насоса	95 л/хв
Механізм повороту	
Швидкість повороту	13 об/хв

Рисунок 3.2 – Загальна технічна характеристика екскаватора Komatsu PC30

Після монтажу і прокладання трубопроводів виконується зворотна засипка, яка поділяється на два етапи:

- 1) Захисне присипання: пазухи траншеї та простір над верхом укладеної поліетиленової труби на висоту 20–30 см засипаються вручну м'яким мінеральним ґрунтом (без каміння) або піском. Цей шар підлягає обов'язковому пошаровому ручному ущільненню легкими трамбівками. Особлива увага приділяється ущільненню пазах, оскільки це запобігає овальній деформації пластикової труби під впливом майбутніх зовнішніх

навантажень. На цьому етапі зварні стикові з'єднання залишають відкритими для візуального контролю під час попередніх гідравлічних випробувань.

- 2) Остаточна засипка: після успішного проведення попереднього тесту на герметичність, траншея повністю засипається мінеральним ґрунтом за допомогою бульдозерів. Засипка виконується шарами завтовшки 20–30 см з обов'язковим механізованим ущільненням кожного шару самохідними або підвісними віброплитами чи пневматичними трамбівками до досягнення коефіцієнта щільності ґрунту не менше 0,95. На завершення земляних робіт поверх ущільненого мінерального ґрунту бульдозерами насувається раніше знятий родючий шар чорнозему з кавальєрів, виконується планування поверхні полів для відновлення структури ріллі.

3.3. Технологія монтажу та зварювання поліетиленових трубопроводів

Монтаж зрошувальної мережі виконується з використанням високоякісних поліетиленових труб ПЕ-100 SDR 17. З'єднання елементів між собою здійснюється за допомогою двох основних технологій термічного зварювання: контактної-стикової (для лінійних ділянок) та електромуфтового (у місцях підключення фасонних частин, запірної арматури та обмеженого простору колодязів). Всі зварювальні процеси виконуються з дотриманням вимог ДСТУ-Н Б В.2.5-40:2009, ДБН В.2.5-74:2013.

Контактно-стикове зварювання застосовується як основний метод для з'єднання довномірних відрізків ПЕ-труб усіх проєктних діаметрів (Ø315, Ø280, Ø250, Ø225 мм). Роботи проводяться на брівці траншеї за допомогою спеціальних мобільних зварювальних апаратів з гідравлічним приводом та електронним блоком протоколювання параметрів. Процес стикового зварювання складається з наступних послідовних операцій [8-12]:

- 1) Центрування та фіксація: кінці двох труб затискаються в хомутах центратора зварювального апарату і вирівнюються для забезпечення ідеальної соосності (допустиме зміщення стінок не повинно перевищувати 10% від товщини стінки труби).
- 2) Торцювання: за допомогою дискового електроторцювальника виконується механічна зачистка та вирівнювання торців труб, що гарантує видалення оксидного шару та забруднень.
- 3) Нагрівання: між торцями встановлюється нагрівальний елемент (зварювальне дзеркало) з температурою робочої поверхні $+210...+220^{\circ}\text{C}$. Кінці труб притискаються до дзеркала під тиском оплавлення до утворення по периметру первинного грата заввишки 1–2 мм. Після цього тиск знижується майже до нуля, і розпочинається етап витримки (прогріву), тривалість якого залежить від товщини стінки труби.
- 4) Стикування та зварювання: після завершення прогріву рухома затискна рамка апарату відводиться назад, нагрівач швидко видаляється (час паузи – не більше 5-6 с), і торці труб плавно зводяться до повного контакту.
- 5) Охолодження: зварений стик витримується під тиском охолодження в затискачах апарату протягом нормативного часу (до повного вирівнювання температури з навколишнім середовищем). Категорично забороняється примусово охолоджувати стик водою. Блок керування автоматично записує параметри зварювання, генеруючи паспорт стику.

Електромуфтове зварювання застосовується для підключення поліетиленових фасонних частин, які передбачені специфікацією проєкту: Трійника ПЕ Ø315x315 (1 шт. на головному розгалуженні), трійника ПЕ Ø280x280 (1 шт. на розподільчій лінії машини Liner), переходів ПЕ Ø315x225 та Ø280x250, відводу ПЕ Ø280 $\alpha=30^{\circ}$, а також буртових втулок ПЕ (Ø315, Ø280, Ø250, Ø225 мм – всього 30 шт.) для переходу на фланцеві з'єднання із запірною арматурою. Зварювання виконується за допомогою фасонних деталей із закладеними електронагрівальними елементами (спіралями) та

спеціальних зварювальних апаратів, які зчитують параметри часу та напруги через штрих-код на муфті/трійнику.

Перед термісторним зварюванням поверхня труби на довжину закладу муфти зачищається ручними шкребками для зняття оксидного шару та ретельно знежирюється ізопропіловим спиртом. Труба вставляється у фасонну частину до упору, фіксується в позиціонері для виключення механічних напружень, після чого до клем підключається струм від апарату. Під впливом електричного струму спіраль плавить поліетилен труби та фасонної частини, утворюючи герметичне монолітне з'єднання високої надійності.

Змонтовані на брівці траншеї довгі батоги (нитки) трубопроводів опускаються на дно піщаної постелі за допомогою автомобільних кранів або екскаваторів, обладнаних спеціальними м'якими текстильними стропами (чалочними рушниками). Використання металевих канатів або ланцюгів категорично заборонено, оскільки вони можуть залишити глибокі подряпини на поверхні поліетилену, що призведе до концентрації напружень і передчасного руйнування трубопроводу під робочим тиском НСП (85 м).

3.4. Монтаж гідротехнічних споруд та колодязів

Напірна закрыта зрошувальна мережа об'єкта включає будівництво 13 оглядових гідротехнічних колодязів, призначених для розміщення запірної, регулюючої, захисної арматури та вузлів підключення шлангових систем дощувальних машин. Конструктивно колодязі зводяться зі збірних залізобетонних елементів (кілець стінових, плит днищ та плит перекриття з люками), виготовлених на заводах ЗБВ відповідно до ДСТУ Б В.2.6-106:2010.

Монтаж колодязів починається після завершення розробки котлованів під споруди. Монтаж виконується із застосування автомобільного крану (рис.3.3). На зачищеній основі влаштовується щебенева підготовка товщиною 100 мм із пошаровим проливанням бітумом, на яку за допомогою автокрана

встановлюється залізобетонна плита днища. На плиту наноситься шар цементно-піщаного розчину марки М150, після чого монтуються стінові кільця необхідного діаметра. Стики між кільцями ретельно закладаються водонепроникним цементним розчином із додаванням рідкого скла. Зовнішня поверхня залізобетонних кілець підлягає обмазувальній гідроізоляції гарячим бітумом у два шари для захисту конструкцій від впливу ґрунтової вологи [8-12].

Кран КС-3577

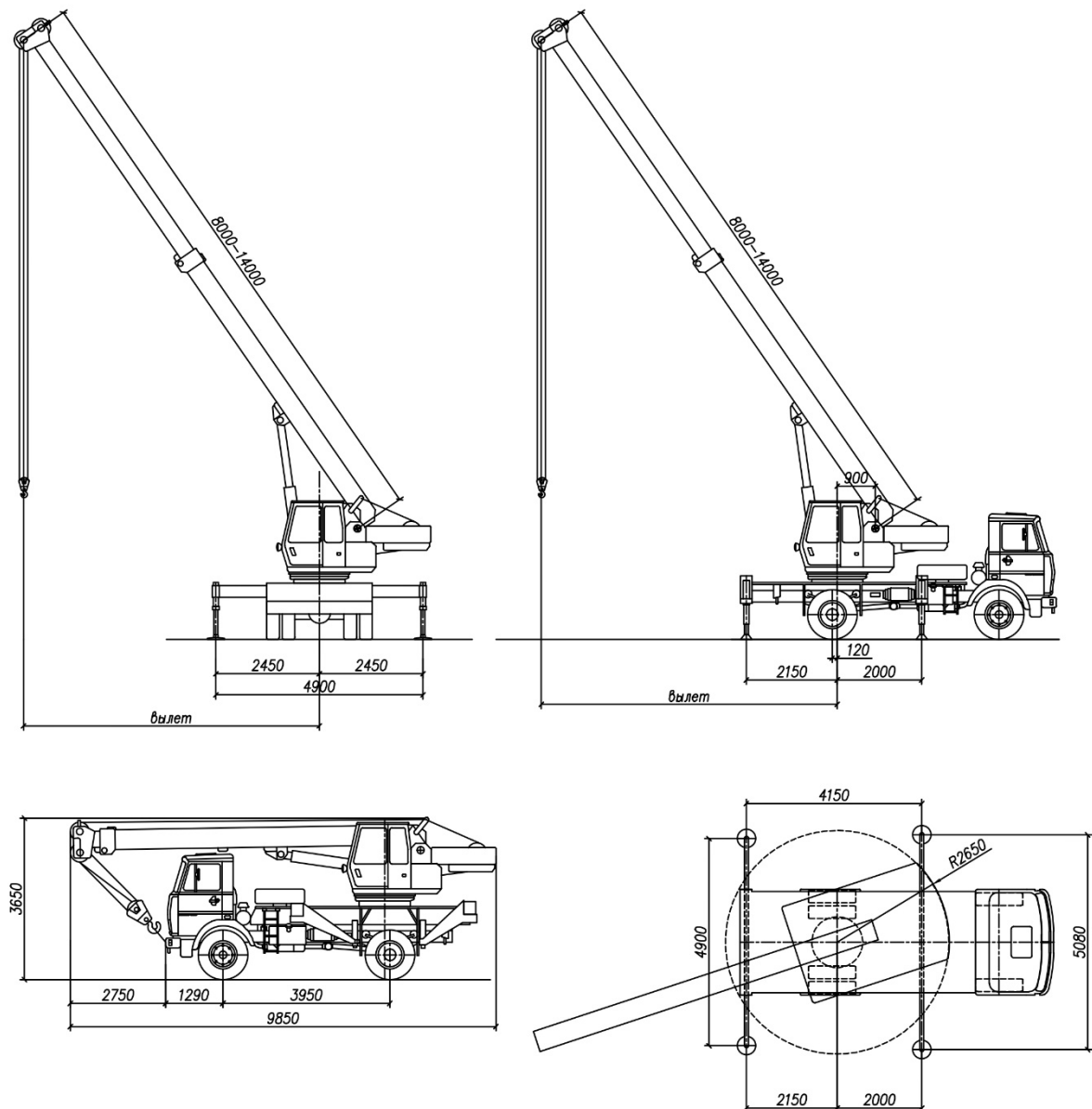


Рисунок 3.3 – Конструкційно-технологічні параметри автомобільного крану для монтажу елементів конструкції зрошувальної мережі

Всередині колодязів монтуються металеві фасонні частини та арматура згідно з деталюванням вузлів проєкту, інтегрованим зі специфікацією Розділу 2. Перехід із поліетиленової труби ПЕ-100 на сталеву фланцеву арматуру здійснюється через вузол: буртова втулка ПЕ $\Rightarrow$ вільний фланець сталевий $\varnothing 300$ (або $\varnothing 250$, $\varnothing 200$ відповідно до ділянки). Запірно-регулюючий комплекс передбачає монтаж поворотних заслінок «батерфляй» ($\varnothing 300$ – 2 шт., $\varnothing 250$ – 1 шт., $\varnothing 200$ – 1 шт.), чавунної засувки 30ч6бр $\varnothing 100$, а також магістрального фільтра $\varnothing 200$ та регулятора тиску $\varnothing 200$ на головному вузлі живлення системи.

Для підключення дощувальної техніки в колодязях встановлюються спеціальні вузли з фланцевими гідрантами (всього 13 комплектів по мережі) та патрубками сталевими $\varnothing 159 \times 6$ завдовжки 1,5 м. Всі фланцеві з'єднання збираються з використанням сталевих фланців, болтів, гайок та еластичних прокладок із технічної гуми товщиною 4–5 мм. Затягування болтів виконується хрестоподібним методом за допомогою динамометричного ключа для забезпечення рівномірного щільного прилягання прокладок і виключення протікання води при робочому тиску.

У найвищій точці перелому профілю магістралі встановлюється автоматичний повітряний вантуз KB-100 $\varnothing 100$ через сталевий перехід $\varnothing 200 \times 100$ та патрубок сталевий $\varnothing 219 \times 6$ ($L=0,5$ м). Вантуз призначений для автоматичного видалення повітря під час заповнення мережі водою річки Вовча від НСП та запобігання утворенню повітряних пробок, які блокують рух води і провокують аварійні гідроудари.

Особливу увагу приділяють сприйняттю значних поздовжніх гідродинамічних зусиль, які виникають у трубопроводах під тиском 8,5 бар у місцях розгалужень та тупикових кінців. Для цього проєктом передбачено влаштування 3 монолітних бетонних упорів марки УГ-21 з об'ємом бетону $1,32 \text{ м}^3$ на кожен упор. Бетонування упорів виконується безпосередньо в котлованах біля вузлів розгалужень (наприклад, біля трійників $\varnothing 315$ та $\varnothing 280$) шляхом укладання товарного бетону класу С16/20 в опалубку впритул до

природного непорушеного ґрунту стінок котловану, що гарантує абсолютну нерухомість інженерних вузлів при пуску насосної станції.

3.5. Гідравлічне випробування трубопроводів на міцність та герметичність

Завершальним та найбільш відповідальним етапом будівельно-монтажних робіт є контроль якості змонтованої системи, що реалізується через гідравлічні випробування трубопроводів на міцність та герметичність. Випробування проводяться відповідно до нормативних вимог та програми ПВР будівельної організації. Процес поділяється на два послідовні етапи: попереднє випробування (виконується монтажниками до повної засипки траншей бульдозерами, коли зварні стики є відкритими для огляду) та остаточне випробування (після повної засипки та завершення монтажу всіх колодязів) [4, 8-12].

Оскільки загальний розрахунковий напір діючої насосної станції підкачки НСП з урахуванням геометричної висоти та всіх втрат становить 85 м (8,5 бар), величина випробувального тиску на міцність для попереднього випробування приймається з коефіцієнтом 1,25 від робочого тиску і складає 1,06 МПа (10,6 бар). Перед початком випробувань трубопроводи заповнюються водою через тимчасові підключення або безпосередньо від агрегатів НСП з мінімальною швидкістю для забезпечення повного витіснення повітря через автоматичний вантуз KB-100 у верхній точці системи. Заповнений трубопровід витримується без тиску протягом 24 годин для стабілізації внутрішньої напруги та водопоглинання стінок поліетилену.

Попереднє гідравлічне випробування включає підйом тиску за допомогою пересувного гідравлічного преса до випробувального значення 1,06 МПа і підтримання його протягом 10 хвилин. Потім тиск знижується до

розрахункового робочого (0,85 МПа), і проводиться ретельний візуальний огляд усіх контактних-стиків та термісторних зварних швів, а також фланцевих з'єднань у 13 колодязях. Система вважається такою, що пройшла попереднє випробування, якщо під час огляду не виявлено ознак розривів стінок труб, протікання води через стики чи падіння тиску на контрольному манометрі понад норму.

Остаточне гідравлічне випробування на герметичність проводиться після повної засипки траншей мінеральним ґрунтом та чорноземом. Випробувальний тиск піднімається до робочого значення 0,85 МПа та витримується протягом 2 годин. Падіння тиску за цей час у поліетиленових трубах ПЕ-100 SDR 17 через пружні властивості матеріалу не повинно перевищувати нормативні 0,02 МПа (0,2 бар). Дані витрати води контролюються за допомогою вимірювального комплексу з ультразвуковим лічильником Ергомера 125-БВ, встановленим на головному вузлі мережі.

Після успішного фіналу випробувань проводиться промивка та дезінфекція трубопроводів, що є обов'язковим для очищення внутрішньої порожнини мережі від випадкового бруду та піску, які можуть забити форсунки розпилювачів *i-Wob* машин Pivot та Liner або кінцеву гармату *Nelson SR75*. Промивка здійснюється проточною водою зі швидкістю руху потоку не менше 1,5 м/с (витрата забезпечується запуском насосів НСП на повну потужність 111,2 л/с). Промивка ведеться доти, доки з випускних патрубків кінцевих заглиблених вузлів не піде абсолютно чиста прозора вода без домішок мулу чи суспензій. Складається тристоронній акт про промивку та повну готовність напірної зрошувальної мережі Покровської громади до регулярної експлуатації та подачі води на зрошувані поля сої та кукурудзи.

РОЗДІЛ 4

ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВНИЦТВА ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Розробка проекту організації будівництва (ПОБ) закритої напірної зрошувальної мережі на території Покровської селищної громади Синельниківського району Дніпропетровської області виконана у відповідності до вимог чинних нормативних документів України. Основними керівними стандартами для проектування інженерно-технологічних та організаційних рішень виступають ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва» та ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди». ПОБ забезпечує ув'язку роботи всіх ланок будівельного потоку, визначає потребу в матеріально-технічних ресурсах, обґрунтовує строки будівництва та гарантує дотримання вимог екологічної безпеки і охорони праці у відповідності до ДСТУ Б А.3.1-22:2013.

4.1. Розрахунок обсягів земляних та будівельно-монтажних робіт

Визначення фізичних обсягів будівельно-монтажних робіт є базовим етапом для подальшого календарного планування. Параметри земляних споруд (траншей та котлованів під колодязі) розраховані на основі просторового трасування мережі та конструктивних особливостей трубопроводів із поліетилену ПЕ-100 SDR 17 (зовнішні діаметри Ø315, Ø280, Ø250, Ø225 мм). Згідно з вимогами ДБН В.2.4-1-99, глибина закладання магістральних та розподільчих трубопроводів прийнята з урахуванням

розрахункової глибини промерзання ґрунтів у Дніпропетровській області (0,8–1,0 м) та динамічних навантажень від сільськогосподарської техніки (тракторів, комбайнів), що працюватиме на полях кукурудза на зерно та соя. Для забезпечення надійності відстань від денної поверхні до верху труби становить не менше 1,20 м, що зумовлює загальну глибину траншей у межах 1,55–1,65 м [12-16].

У відповідності до вимог екологічного законодавства України та ДБН А.3.1-5:2016, впроваджено обов'язкове роздільне вилучення та складування ґрунтів. Родючий шар (чорнозем звичайний) знімається бульдозером по всій ширині технологічної смуги будівництва. Мінеральний ґрунт нижчих горизонтів (суглинки важкі II групи) розробляється механізованим способом у відвал. Розрахунок геометричних обсягів виїмки траншей з вертикальними стінками без кріплення виконано за формулою:

$$V = b \cdot H \cdot L, \quad (4.1)$$

де b – ширина траншеї по дну (прийнята як $d + 0,5$ м для забезпечення доступу при монтажі), H – середня глибина, L – довжина ділянки.

Повний перелік обсягів робіт, що підлягають виконанню на об'єкті, наведено у вигляді деталізованої інженерної відомості у таблиці 4.1.

Зважаючи на лінійну структуру об'єкта та значну протяжність напірного водоводу (загальна довжина ліній складає 4982 м), для виконання будівельно-монтажних робіт приймається неперервний потоковий метод. Даний метод дозволяє сумістити виконання суміжних процесів у часі та просторі. Весь масив робіт розділяється на декілька паралельних технологічних потоків, які рухаються вздовж траси з єдиним фіксованим ритмом (кроком потоку $K = 1$ зміна) [12-16].

Таблиця 4.1 – Зведена відомість обсягів земляних, сантехнічних та будівельно-монтажних робіт

№ з/п	Найменування будівельно-монтажних процесів та конструкцій	Одиниця виміру	Кількість
I. ЗЕМЛЯНІ РОБОТИ			
1.1	Розробка рослинного ґрунту товщиною $t = 0,5$ м екскаватором ємністю ковша $0,5 \text{ м}^3$ з послідуочим відновленням бульдозером з переміщенням до 5 м	м^3	1993
1.2	Розробка ґрунту II групи (важкий суглинок) екскаватором ємністю ковша $0,25 \text{ м}^3$ у відвал з урахуванням розширення траншеї під оглядові колодязі та упори	м^3	2790
1.3	Ручні доробки ґрунту (очищення дна виїмки, влаштування постелі під полімерні труби)	м^3	199
1.4	Розробка ґрунту в місцях перетинання з існуючими підземними комунікаціями вручну	м^3	10
1.5	Зворотне засипання траншеї екскаватором з грейферним ковшем з підбиванням пазух і пошаровим ущільненням механізованим трамбуванням (захисний шар)	м^3	2790
1.6	Зворотне засипання траншеї бульдозером з переміщенням ґрунту до 5 м (фінальне планування)	м^3	209
II. САНТЕХНІЧНІ ТА МОНТАЖНІ РОБОТИ			
2.1	Укладання сталевих труб $\varnothing 325 \times 8$ з дуже посиленою бітумно-гумовою ізоляцією із промиванням і гідравлічним випробуванням тиском	м	2
2.2	Укладання поліетиленових труб $\varnothing 315$ ПЕ-100 типу SDR 17 із промиванням і випробуванням на герметичність (магістраль НСП – вузол розгалуження)	м	504
2.3	Укладання поліетиленових труб $\varnothing 280$ ПЕ-100 типу SDR 17 із промиванням і випробуванням (розподільчі лінії під фронтальну ДМ Liner)	м	3496

№ з/п	Найменування будівельно-монтажних процесів та конструкцій	Одиниця виміру	Кількість
2.4	Укладання поліетиленових труб Ø250 типу SDR 17 із промиванням і випробуванням (лінія під кругову ДМ Pivot)	м	370
2.5	Укладання поліетиленових труб Ø225 типу SDR 17 із промиванням і випробуванням (кінцева лінія під ДМ Pivot)	м	610
2.6	Монтаж арматури та фасонних частин (заслінки «батерфляй», трійники, втулки, вільні фланці, штуцери, сталеві патрубки)	компл.	1
2.7	Монтаж технологічних вузлів у зборі (з фланцевими гідрантами, регуляторами тиску, вантузами KB-100 та витратомірами Ергомера)	шт.	14
ІІІ. ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ ТА КОЛОДЯЗИ			
3.1	Влаштування оглядового залізобетонного колодязя Д = 2,0 м, робочою висотою Н _р = 1,8 м (у складі: плита днища КЦД-20 – 1 шт., плита перекриття КЦП1-20-1 – 1 шт., кільця стінові КС 20.9 – 2 шт., кришка К-1 – 1 шт.)	шт.	1
3.2	Влаштування оглядових залізобетонних колодязів Д = 1,5м, робочою висотою Н _р = 1,8 м (у складі: плити днища КЦД-15 – 3 шт., плити перекриття КЦП1-15-1 – 3 шт., кільця КС 15.9 – 6 шт., кришки К-1 – 3 шт.)	шт.	3
3.3	Влаштування щебеневої підготовки товщиною t = 0,1 м під основу колодязя Д = 2,0 м	м ³	0,49
3.4	Влаштування щебеневої підготовки товщиною t = 0,1 м під основи колодязів Д = 1,5 м	м ³	0,96
ІV. ІНШІ РОБОТИ ТА ФУНДАМЕНТИ			
4.1	Технологічне підключення до існуючих трубопроводів (врізка в напірний колектор НСП-3)	місць	1
4.2	Влаштування монолітного залізобетонного фундаменту під центральну нерухомої опори дощувальної машини Pivot	шт.	1

4.2. Розрахунок продуктивності будівельних машин та механізмів

Технічне обґрунтування вибору машин проведено на основі розрахунків їх експлуатаційної продуктивності з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунтів району будівництва [12-16]. Згідно з завданням, основними засобами механізації прийнято: бульдозер Komatsu D51, одноковшевий гідравлічний екскаватор Komatsu PC-30 та автомобільний кран КС-3577 вантажопідйомністю 14 тон.

Розрахунок продуктивності екскаватора Komatsu PC-30. Експлуатаційна годинна продуктивність одноковшового екскаватора Komatsu PC-30 (місткість ковша $q = 0,25 \text{ м}^3$) при розробці траншеї у відвал визначається за формулою:

$$P_e = (3600 \cdot q \cdot k_n \cdot k_v) / t_{\text{ц}}, \quad (4.2)$$

де k_n – коефіцієнт наповнення ковша для суглинків (0,90); k_v – коефіцієнт використання робочого часу зміни (0,82); $t_{\text{ц}}$ – час одного повного циклу екскавації з поворотом стріли на 90° (22 сек).

$$P_e^{\text{год}} = (3600 \cdot 0,25 \cdot 0,90 \cdot 0,82) / 22 = 30,27 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Змінна продуктивність при тривалості зміни $T_{\text{зм}} = 8 \text{ год}$ з урахуванням коефіцієнта розпушення ґрунту $k_p = 1,22$ становить:

$$P_e^{\text{зм}} = (30,27 \cdot 8) / 1,22 = 198,5 \text{ м}^3/\text{зміну}.$$

Розрахунок продуктивності бульдозера Komatsu D51. Експлуатаційна продуктивність бульдозера при переміщенні та насуванні рослинного ґрунту

II групи на відстань до 5 м визначається об'ємом призми волочіння попереду відвалу:

$$P_{\phi} = (3600 \cdot V_{np} \cdot k_{\phi}) / t_{\phi}, \quad (4.3)$$

де V_{np} – об'єм призми ґрунту перед відвалом бульдозера ($V_{np} = 2,45 \text{ м}^3$ для відвалу Komatsu D51); k_{ϕ} – коефіцієнт використання техніки (0,80); t_{ϕ} – тривалість циклу (зарізання, переміщення, скидання, зворотний хід), що становить 24 секунди для відстані 5 м.

$$P_{\phi}^{\text{год}} = (3600 \cdot 2,45 \cdot 0,80) / 24 = 294,0 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Змінна продуктивність бульдозера з урахуванням впливу кваліфікації та укосів становить:

$$P_{\phi}^{\text{зм}} = (294,0 \cdot 8) / 1,22 = 1927,8 \text{ м}^3/\text{змину}.$$

Розрахунок продуктивності автомобільного крана КС-3577. Продуктивність крана при укладанні батогів зварених поліетиленових труб ПЕ-100 SDR 17 та монтажу кілець КС 20.9 / КС 15.9 розраховується за кількістю підйомів (циклів) за годину:

$$P_{\kappa} = (60 / t_{\kappa}) \cdot G \cdot k_{\kappa}, \quad (4.4)$$

де t_{κ} – час монтажного циклу (стропування, підйом, поворот, опускання, вирівнювання, розстропування), який для залізобетонних кілець становить 12 хв, для 12-метрової секції труби – 15 хв; G – маса елемента; k_{κ} – коефіцієнт використання часу (0,85).

Для монтажу труб:

$$P_{\kappa}^{\text{год}} = (60 / 15) \cdot 1 \cdot 0,85 = 3,4 \text{ елемента/год}.$$

За зміну (8 год) продуктивність становить 27,2 елемента, що в лінійному вимірі еквівалентно 326 метрам прокладеного трубопроводу за зміну.

4.3. Розрахунок потреби в землерийній та будівельній техніці

Розрахунок необхідної кількості машино-змін (табл. 4.2) для кожного механізованого процесу виконується на основі фізичних обсягів робіт відомості (таблиця 4.1) та нормативного виробітку за формулою:

$$M_{зм} = V / (H_{вир} \cdot k_v), \text{ де } k_v = 1,1 \quad (4.5)$$

Таблиця 4.2. Розрахунок потреби в машино-змінах будівельної техніки

Технологічний процес за відомістю	Обсяг робіт	Тип і марка машини	Прийнята норма виробітку	Розрахункові маш.-зм.	Кількість одиниць
Зняття та переміщення родючого шару чорнозему	1993 м ³	Бульдозер Komatsu D51	250 м ³ /зм	7,97	1
Розробка траншей у відвал (суглинки II групи)	2790 м ³	Екскаватор Komatsu PC-30	95 м ³ /зм	29,37	2
Зворотне засипання пазух з підбиванням (захисний шар)	2790 м ³	Екскаватор Komatsu PC-30	150 м ³ /зм	18,60	1
Остаточна засипка та планування траншеї	209 м ³	Бульдозер Komatsu D51	300 м ³ /зм	0,70	1
Прокладання ПЕ-труб (Ø315-225 мм) в траншею	4974 м	Автокран КС-3577	350 м/зм	14,21	1
Монтаж залізобетонних кілець колодязів та вузлів	14 вузлів	Автокран КС-3577	2 вузли/зм	7,00	1

4.4. Розрахунок складу комплексної бригади будівельників

Для забезпечення неперервного потокового виконання будівельно-монтажних процесів формується комплексна бригада робітників [12-16]. Проектування чисельно-кваліфікаційного складу бригади виконано на основі суміщення професій з метою мінімізації перерв у роботі техніки. Розрахунковий склад комплексної бригади, що забезпечує виконання як механізованих, так і ручних процесів (зачистка дна, монтаж арматури, зварювання), наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Кваліфікаційний склад комплексної будівельної бригади

№ з/п	Професія / Спеціалізація робітників	Кваліфікаційний розряд	Чисельність, осіб
1	Бригадир (виконавець робіт, ланковий)	V розряд	1
2	Машиніст екскаватора Komatsu PC-30	VI розряд	2
3	Машиніст бульдозера Komatsu D51	V розряд	1
4	Машиніст автомобільного крана КС-3577	VI розряд	1
5	Електрозварник (контактно-стикове та високотемпературне зварювання)	V розряд	3
6	Монтажник зовнішніх трубопроводів та споруд	IV розряд	5
7	Підсобний робітник (ручна доробка, шурфування)	II розряд	2
Всього			15

4.5. Розрахунок фонду заробітної плати робітників

Розрахунок фонду заробітної плати (ФЗП) для будівельно-монтажного персоналу виконано на основі загальної трудомісткості процесів та встановленої середньої тарифної ставки за один людино-день [12-16]. Відповідно до вихідних параметрів економічного обчислення, прийнята середня заробітна плата на об'єкті складає 1930 грн. за 1 людино-день.

Загальний обсяг трудовитрат (людино-днів) визначається як сума добутків тривалості кожного будівельного процесу на чисельність ланки, що його реалізує. Результати фінансово-технологічного розрахунку фонду оплати праці робітників зведено у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4. Розрахунок фонду заробітної плати за видами робіт

Технологічний етап будівництва зрошувальної мережі	Тривалість, днів	Склад ланки, осіб	Загальні трудовитрати, люд.-днів	Фонд заробітної плати, грн.
Геодезична розбивка осей та підготовчі роботи	4	3	12	23 160
Зняття та наступне насування гумусу бульдозером	8	2	16	30 880
Розробка траншей екскаваторами Komatsu PC-30	14	3	42	81 060
Контактно-стикове зварювання та укладання ПЕ-труб	15	8	120	231 600
Влаштування ЗБ оглядових колодязів та упорів УГ-21	6	6	36	69 480
Монтаж лінійної запірної арматури та гідрантів 6"	5	5	25	48 250
Попереднє випробування тиском та засипка пазух	10	5	50	96 500
Остаточна засипка, рекультивация та промивка	6	4	24	46 320
Всього			325	627 250

4.6. Розробка календарного графіка виконання робіт

Календарний графік виробництва робіт складено у формі лінійної таблиці Ганта з кроком в один тиждень (таблиця 4.5). Він відображає послідовність процесів та ув'язку роботи комплексної бригади з 15 осіб.

4.7. Проектування будгенплану та техніко-економічні показники

Будівельний генеральний план (будгенплан) розроблено на основі лінійної структури об'єкта з дотриманням нормативних вимог ДБН А.3.1-5:2016 та нормативів з «Охорони праці та промислової безпеки у будівництві». Тимчасовий притрасовий склад для зберігання 12-метрових відрізків труб ПЕ-100 організовується поблизу існуючих міжпольових доріг Покровської громади. Розрахунок небезпечної зони навколо автомобільного крана КС-3577 проведено за формулою:

$$R_{\text{неб}} = R_{\text{вих}} + 0,5 \cdot L_{\text{в}} + L_{\text{від}}, \quad (4.6)$$

де $R_{\text{вих}}$ – максимальний виліт стріли крана (14,0 м); $L_{\text{в}}$ – максимальний габарит вантажу (12,0 м); $L_{\text{від}}$ – нормативна відстань відлітання вантажу (4,0 м).

$$R_{\text{неб}} = 14,0 + 0,5 \cdot 12,0 + 4,0 = 24,0 \text{ м.}$$

Будгенплан об'єкта розробляється з урахуванням лінійної специфіки будівництва і містить наступні ключові елементи [12-16]:

- 1) Майданчики складування: відкритий склад для зберігання

поліетиленових труб ПЕ-100 SDR 17 організовується поблизу існуючих ґрунтових доріг між полями №1 та №2. Труби діаметрами від 225 до 315 мм складуються на дерев'яних підкладках штабелями (висота штабеля не більше 2,0 м для запобігання деформації). Залізобетонні елементи колодязів (кільця КС, плити) складуються у зоні дії автокрана КС-3577. Запірна арматура, фланці, ультразвуковий лічильник Ергомера та зварювальні апарати зберігаються у закритому металевому контейнері (мобільному вагончику).

- 2) Тимчасові споруди: побутові містечка для будівельників (вагончики для переодягання, прийому їжі, біотуалети) розміщуються на безпечній відстані (не менше 50 м) від зони роботи важкої техніки (екскаваторів та бульдозерів) та поза межами водоохоронної зони регулюючого басейну.
- 3) Під'їзні шляхи: для доставки труб довжиною 12 метрів (стандартна заводська довжина ПЕ-труб великих діаметрів) тягачами-довгомірами використовуються існуючі польові дороги громади. Внутрішньобудівельні дороги вздовж траншей плануються бульдозером Komatsu D51 шириною 3,5 м для проїзду автокрана та зварювальних агрегатів.
- 4) Зони безпеки: зони роботи екскаватора Komatsu PC-30 та автокрана КС-3577 позначаються попереджувальними знаками. Небезпечна зона роботи крана розраховується як радіус максимального вильоту стріли плюс довжина труби. Під час проведення попереднього гідравлічного випробування (тиском 10,6 бар) зона на відстані 10 м від траншеї огорожується сигнальною стрічкою, перебування людей у цій зоні суворо забороняється.

Розрахунок площ тимчасових побутових споруд виконується за чисельністю робітників у піковий період будівництва. Згідно з графіком руху робочої сили, максимальна кількість робітників на об'єкті складає $N_{\max} = 15$

осіб. Потреба в площі побутових вагончиків розраховується за питомою нормою 2,5 м² на одну людину:

$$S_{\text{поб}} = N_{\text{max}} \cdot 2,5 = 15 \cdot 2,5 = 37,5 \text{ м}^2$$

Проектом передбачається встановлення двох універсальних мобільних вагончиків-контейнерів загальною площею 40 м², що повністю задовольняє санітарно-побутові потреби персоналу.

Ефективність та раціональність закладених у ПОБ організаційно-технологічних рішень оцінюється на основі аналізу фінального комплексу техніко-економічних показників (ТЕП), розрахованих для зрошувального об'єкта Покровської громади:

- 1) Загальна протяжність лінійної частини напірної мережі трубопроводів із ПЕ-100 SDR 17 – 4982 м.
- 2) Загальна площа масивів штучного зрошення (соя та кукурудза) – 255,45 га.
- 3) Сумарний розрахунковий обсяг земляних робіт – 5991 м³.
- 4) Кількість побудованих оглядових залізобетонних колодязів – 4 комплекти.
- 5) Загальний нормативно-календарний термін виконання земляних і будівельно-монтажних робіт – 42 робочі дні.
- 6) Максимальна чисельність комплексної бригади на майданчику – 15 осіб.
- 7) Загальний фонд заробітної плати за кошторисом ПОБ – 627 250 грн.
- 8) Коефіцієнт рівномірності руху робочої сили – 0,73.

Таблиця 4.5. Календарний графік виконання будівельно-монтажних робіт (таблиця Ганта)

Найменування технологічних процесів та операцій	Фізичний обсяг	Трудомістк. (люд.-днів)	Строк (днів)	Календарний план за тижнями будівництва (робочі дні)							
				T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1. Геодезична розбивка осей трубопроводів	4982 м	12	4	×							
2. Зняття рослинного шару бульдозером Komatsu D51	1993 м ³	16	8	×	×						
3. Розробка траншеї екскаваторами Komatsu PC-30	2790 м ³	42	14		×	×	×	×			
4. Стикове зварювання та прокладання труб ПЕ-100	4974 м	120	15			×	×	×	×		
5. Влаштування ЗБ колодязів та упорів УГ-21	14 вузлів	36	6					×	×		
6. Встановлення гідрантів та арматури	1 компл.	25	5						×	×	
7. Попереднє випробування та зворотне засипання	2790 м ³	50	10							×	×
8. Фінальне планування, промивка та здача	209 м ³	24	6								×

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1. Техніка безпеки під час виконання земляних та зварювальних робіт

Усі будівельно-монтажні роботи зі спорудження закритої напірної зрошувальної мережі на території Покровської селищної громади Синельниківського району Дніпропетровської області мають виконуватися у суворій відповідності до вимог ДБН А.3.2-2:2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві» та НПАОП 45.2-7.02-12 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці у будівництві». Забезпечення безпечних умов праці на будівельному майданчику є першочерговим обов'язком генерального підрядника та інженерно-технічного персоналу [17-18].

Земляні роботи є процесом підвищеної небезпеки через ризик травмування робітників у разі раптового зсуву або обвалення ґрунту. Проектом передбачено розробку 2790 м³ мінерального ґрунту II групи (важкі суглинки) за допомогою одноковшового екскаватора Komatsu PC-30 на глибину 1,55–1,65 м. Згідно з нормативними вимогами, максимальна глибина виїмки з вертикальними стінками без встановлення тимчасового кріплення у суглинках не повинна перевищувати 1,50 м. Оскільки проєктна глибина траншеї для забезпечення закладання поліетиленових труб ПЕ-100 нижче точки промерзання (на 1,20 м до верху труби) становить до 1,65 м, розробка траншей без кріплення допускається виключно за умови влаштування укосів.

Крутизна укосів траншей для важких суглинкових ґрунтів при глибині виїмки до 1,65 м приймається у співвідношенні не менше ніж 1:0,5 (кут між укосом і горизонталлю становить 63°). Для запобігання обваленню стінок

траншей під час виконання інженерних робіт вводяться такі організаційно-технічні обмеження [17-18]:

- 1) Розробка ґрунту екскаватором Komatsu PC-30 у відвал проводиться з одного боку траншеї. При цьому брівка відвалу мінерального ґрунту повинна розташовуватися на відстані не менше 0,5 м від краю виїмки, щоб мінімізувати додатковий тиск на стінки.
- 2) Категорично забороняється рух будівельних машин і механізмів (бульдозера Komatsu D51 та автомобільного крана КС-3577) у межах призми обвалення ґрунту. Мінімальна безпечна відстань від краю траншеї до гусениць чи коліс техніки має складати не менше 1,5–2,0 м залежно від навантаження на вісь.
- 3) Перед спуском робітників у траншею для виконання ручної доробки недобору (обсягом 199 м³) та підготовки піщаної постелі, ланковий або майстер зобов'язаний провести візуальний огляд стану укосів на наявність тріщин, навісів чи відшарувань ґрунту. У разі виявлення небезпечних деформацій роботи зупиняються, а стінки траншеї негайно обрештовуються зверху або укріплюються щитами.
- 4) Спуск робітників у траншею дозволяється виключно за допомогою інвентарних дерев'яних драбин, обладнаних поручнями. Стрибати в траншею або спускатися по її укосах суворо заборонено.

При виконанні зварювальних робіт під час монтажу 4974 метрів поліетиленових труб ПЕ-100 SDR 17 (діаметрами Ø315, Ø280, Ø250, Ø225 мм) основними небезпечними факторами є ураження електричним струмом від зварювальних агрегатів, термічні опіки від нагрівальних елементів (+210...+220°C) та травмування рухомими частинами хомутів центратора. Електрозварники (3 особи у складі комплексної бригади) повинні мати кваліфікаційний розряд не нижче V, пройти спеціальне навчання, мати посвідчення на право зварювання полімерних матеріалів та II групу з електробезпеки [17-18].

Зварювальне обладнання для контактнo-стикoвoгo та термісторнoгo зварювання, а також генераторні установки 2Gareні мають бути надійно заземлені. Корпуси апаратів, гідравлічних станцій та блоків протоколювання повинні мати заземлювальний контур із опором не більше 4 Ом відповідно до вимог ПУЕ (Правила улаштування електроустановок). Всі кабелі живлення повинні мати подвійну гумову ізоляцію без механічних пошкоджень. Зварювальні роботи під час дощу або густого туману без зведення спеціальних інвентарних наметів (навісів) над місцем зварювання категорично забороняються.

5.2. Охорона навколишнього середовища та заходи щодо збереження родючого шару ґрунту

Охорона навколишнього природного середовища є пріоритетним завданням при будівництві меліоративних об'єктів. Земляні роботи проводяться безпосередньо на орних землях Синельниківського району, де ґрунтовий покрив представлений чорноземами звичайними важкосуглинковими, які володіють унікальною родючістю. Будь-яка деградація, змішування або псування цього шару веде до зниження майбутньої врожайності сільськогосподарських культур на полях сої та кукурудзи. Згідно з вимогами стандартів та Земельним кодексом України, проєктом передбачено комплекс заходів із технічної та біологічної рекультивації порушених земель. Процес збереження гумусу поділяється на три послідовні стадії:

- 1) Зняття родючого шару ґрунту: до початку основної екскавації траншей за допомогою високопродуктивного бульдозера Komatsu D51 проводиться пошарове зрізання гумусового горизонту товщиною $t = 0,5$ м. Зняття виконується в межах технологічної смуги будівництва завширшки до 6,0 м. Загальний розрахунковий обсяг знятого

чорнозему складає 1993 м³ згідно з відомістю обсягів робіт.

- 2) Складування та зберігання гумусу: знятий родючий ґрунт переміщується бульдозером Komatsu D51 у тимчасові правильні відвали – кавальєри, які розташовуються з одного боку траншеї (протилежного від відвалу мінерального суглинку). Відстань від підосви кавальєра з гумусом до брівки траншеї має бути не менше 1,5 м для виключення осипання. Поверхня кавальєрів розрівнюється, щоб запобігти розмиванню дощовими водами. Оскільки термін будівництва за графіком складає 42 дні, засівання відвалів травами не проводиться, проте кавальєри захищають від заїжджання гусеничного транспорту.
- 3) Технічна рекультивація та зворотне насування: після укладання трубопроводів ПЕ-100 та проведення успішних попередніх гідровипробувань тиском 10,6 бар, пазухи траншеї засипаються мінеральним суглинком (2790 м³) за допомогою грейферного ковша екскаватора та бульдозера з обов'язковим пошаровим ущільненням пневмотрамбовками до коефіцієнта щільності не менше 0,95. Після вирівнювання мінеральної основи до рівня субпрофілю, бульдозер Komatsu D51 виконує зворотне насування родючого шару чорнозему з кавальєрів (обсягом 209 м³ для фінального вирівнювання мікрорельєфу та решти обсягу по площі технологічної смуги). Родючий шар рівномірно розподіляється по поверхні, відновлюючи первинну структуру ґрунту без погіршення її агрохімічних властивостей.

5.3. Заходи з мінімізації впливу будівельної техніки на екосистему громади

Функціонування на будівельному майданчику парку важкої техніки (бульдозера Komatsu D51, екскаваторів Komatsu PC-30 та автокрана КС-3577) супроводжується техногенним навантаженням на навколишнє середовище

Покровської громади. Це виражається в емісії вихлопних газів, акустичному шумі двигунів внутрішнього згоряння, ущільненні підстилаючих шарів ґрунту під колесами та гусеницями, а також ризиках хімічного забруднення нафтопродуктами. Для зведення цих факторів до мінімуму впроваджується жорсткий екологічний регламент виконання робіт.

З метою запобігання переущільненню ґрунтової структури та розвитку ерозійних процесів, рух будівельного транспорту дозволяється виключно в межах чітко визначених проєктом під'їзних шляхів та технологічної смуги відведення. Позалінійне хаотичне переміщення машин по орних масивах полів суворо заборонено. Оскільки Komatsu D51 та PC-30 є гусеничними машинами, їх тривалий самохідний транзит між віддаленими ділянками обмежується; транспортування техніки на об'єкт здійснюється на спеціальних низькорамних тралах-платформах.

Особлива увага приділяється захисту водних ресурсів басейну річки Вовча. Технічне обслуговування, миття будівельних машин та заправка паливно-мастильними матеріалами на відкритому ґрунті або безпосередньо на полях категорично забороняються. Заправка паливом здійснюється на спеціально організованому притрасовому майданчику з водонепроникним покриттям (бетонні плити з бортовим огородженням та брезентовим підстиланням), обладнаному ящиками з піском та первинними засобами пожежогасіння. Будівельні машини щозміни проходять інженерний огляд; у разі виявлення найменших витоків мастила чи палива з гідросистем двигуна машина негайно знімається з потоку до повного усунення несправності.

Для зниження рівня атмосферного забруднення та шуму в межах громади, вся будівельна техніка повинна мати відрегульовану паливну апаратуру та справні глушники вихлопних газів. Вміст оксиду вуглецю (CO) та вуглеводнів у вихлопах має відповідати вимогам екологічних стандартів Євро-3/Євро-4. Робота двигунів техніки на холостому ходу під час технологічних перерв тривалістю понад 5 хвилин забороняється. У суху та вітряну погоду, для запобігання утворенню пилових бур під час руху

автотранспорту з матеріалами, польові під'їзні дороги підлягають періодичному зрошенню водою за допомогою причіпних цистерн.

Усі побутові відходи будівельного містечка та будівельне сміття (залишки зварювальних матеріалів, обрізки поліетиленових труб ПЕ-100) збираються в інвентарні металеві контейнери та підлягають централізованому вивезенню за договором на полігони твердих побутових відходів.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУ

6.1. Визначення техніко-економічних показників проєкту будівництва та терміну окупності системи зрошення

Економічне обґрунтування інженерних рішень із будівництва внутрішньогосподарських меліоративних систем є обов'язковою умовою для оцінки доцільності капітальних інвестицій. Перехід від богарного землеробства до штучного зволоження напірного закритого типу супроводжується значними одноразовими фінансовими витратами на придбання високотехнологічного обладнання, трубного масиву та проведення будівельно-монтажних робіт. Проте, стабілізація водно-повітряного режиму ґрунту дозволяє суттєво підвищити врожайність агрокультур, нівелювати кліматичні ризики посушливої степової зони та забезпечити гарантоване отримання високого чистого прибутку.

Розрахунок економічної ефективності та терміну окупності системи виконано на основі реальних ринкових цін, що склалися на ринку матеріалів, техніки, енергоносіїв та сільськогосподарської продукції станом на 2026 рік. Об'єктом розрахунку є масив площею нетто 353,50 га (площа зрошення двох полів становить 255,45 га), де експлуатуються дощувальна машина кругової дії Pivot (поле №1, кукурудза на зерно, площа зрошення 116,95 га) та фронтальна машина Rain Liner (поле №2, соя, площа зрошення 138,50 га). Джерелом водопостачання є діюча насосна станція підкачки НСП з регулюючим басейном.

Сума капітальних вкладень (K) на будівництво системи включає витрати на придбання широкозахватних дощувальних машин, трубної продукції ПЕ-100 SDR 17, чавунної та сталевий запірної арматури, фасонних елементів, а також вартість будівельно-монтажних робіт (БМР) та супутніх

послуг (доставка, шеф-монтаж, влаштування фундаментів і упорів). Загальний обсяг капітальних інвестицій розраховується за формулою:

$$K = K_{обл} + K_{тр} + K_{бмр} + K_{ін}, \quad (6.1)$$

де $K_{обл}$ – вартість дощувальних машин; $K_{тр}$ – вартість трубної продукції та з'єднувальних деталей; $K_{бмр}$ – вартість будівельно-монтажних робіт; $K_{ін}$ – інші витрати (проектно-вишукувальні роботи, експертиза).

Деталізований кошторисний розрахунок капітальних витрат на основі цін 2026 року наведено у таблиці 6.1. Таким чином, сумарна капіталомісткість інженерного проекту становить 21600000 грн., що відповідає питомим інвестиціям у розмірі 84556 грн. на один гектар зрошуваної площі нетто.

Впровадження штучного зволоження зумовлює появу додаткових щорічних витрат на експлуатацію меліоративної системи (табл. 6.2). Розрахунок операційних витрат ($C_{експ}$) проводиться за статтями калькуляції:

$$C_{експ} = C_{води} + C_{енерг} + C_{аморт} + C_{тех}^{обсл} + C_{зн}^{експ}, \quad (6.2)$$

Для обчислень прийнято такі нормативні та договірні параметри 2026 року:

- 1) Вартість поливної води: фіксована на рівні 8,50 грн. за 1 м³ поданого об'єму. Розрахункова норма поливу для кукурудзи на зерно становить 2400 м³/га (загальний об'єм на 116,95 га – 280680 м³), для сої – 2100 м³/га (загальний об'єм на 138,50 га – 290850 м³). Сумарне водоспоживання за сезон поливу становить 571530 м³.
- 2) Вартість електроенергії та палива: тариф на промислову електроенергію для НСП-3 прийнято у розмірі 7,20 грн./кВт-год. Вартість дизельного палива для генераторів 2Gareні дощувальних машин становить 52,00 грн./л. Сумарні енерговитрати за сезон складають 1250000 грн.
- 3) Амортизаційні відрахування: нараховуються лінійним методом для

реновації основних фондів меліорації. Середня норма амортизації для полімерних трубопроводів та дощувальних машин прийнята на рівні 5% від загальної вартості CapEx, що становить 1080000 грн./рік.

- 4) Додаткові інтенсивні витрати на рослинництво: вирощування культур на зрошенні вимагає збільшених норм внесення мінеральних добрив (азотних, фосфорних), використання високоякісного насіннєвого матеріалу та посилених засобів захисту рослин (ЗЗР). Додаткові агротехнічні витрати становлять 1 350 000 грн./рік.

Таблиця 6.1 – Кошторисний розрахунок капітальних вкладень (інвестицій) у систему зрошення

№ з/п	Найменування статей витрат, обладнання та матеріалів	Од. вим.	Кількість	Сума, грн.
1	Дощувальна машина кругової дії Pivot (радіус поливу 610,1 м, 10 секцій) у комплекті з дизель-генератором 16 кВт та шафою Schneider	компл.	1	4850000
2	Дощувальна машина фронтальної дії Rain Liner (захват 348,6 м) у комплекті з дизель-генератором 20 кВт та комп'ютером управління AGS	компл.	1	6150000
3	Труби поліетиленові ПЕ-100 SDR 17 високої щільності (Ø315 – 496 м, Ø280 – 3498 м, Ø250 – 370 м, Ø225 – 610 м) з урахуванням ПЕ-втулок та трійників	м	4974	4520000
4	Запірно-регулююча та вимірювальна арматура фланцева (заслінки «батерфляй», чавунні засувки, 13 гідрантів, вантузи КВ-100, витратомір Ергомера)	компл.	1	1080000
5	Сталеві фасонні частини (патрубки приварні Ø325, Ø273, Ø219, Ø159, фланці, відводи, заглушки)	компл.	1	380 000
6	Будівельно-монтажні роботи (БМР), включаючи механізовану розробку 2790 м ³ траншей, влаштування з/б колодязів, 3 упорів УГ-21 та залізобетонного фундаменту	компл.	1	3120000
7	Прямий фонд заробітної плати комплексної бригади (15 осіб, 325 люд.-днів) з урахуванням нарахувань та податків	компл.	1	627250
8	Проектно-вишукувальні роботи, геодезична зйомка, експертиза та авторський нагляд	компл.	1	872750
Всього				21600000

Таблиця 6.2 – Калькуляція щорічних додаткових експлуатаційних витрат на зрошення

№ з/п	Статті операційних експлуатаційних витрат	Річні витрати, грн.
1	Вартість поливної води (Кукурудза + Соя)	4858005
2	Електроенергія на НСП та дизельне паливо для ДМ	1250000
3	Амортизаційні відрахування на відновлення мережі	1080000
4	Додаткові мінеральні добрива, насіння та ЗЗР під полив	1350000
5	Заробітна плата експлуатаційного персоналу НСП та ДМ	373490
Всього		8911495

Економічний ефект від функціонування закритої напірної мережі формується за рахунок отримання додаткової продукції рослинництва. Для розрахунку прийнято середні ціни реалізації зернових та зернобобових культур на внутрішньому ринку України у 2026 році: ціна кукурудзи на зерно становить 8200 грн./т, ціна сої – 18500 грн./т. Приріст валового збору обчислено як різницю між урожайністю культури на зрошенні та її урожайністю на богарі (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Розрахунок приросту валового доходу за рахунок впровадження зрошення

Сільсько-господарська культура	Площа, га	Урожайність богара, т/га	Урожайність зрошення, т/га	Приріст врожаю, т	Ціна 2026 р., грн./т	Додатковий дохід, грн.
Поле №1 кукурудза на зерно (ДМ Pivot)	116,95	4,50	11,00	760,175	8200	6233435
Поле №2 соя (ДМ Liner)	138,50	1,70	3,80	290,850	18500	5380725
Всього						11614160

Щорічний додатковий чистий прибуток від впровадження інженерного проєкту зрошувальної мережі визначається як різниця між додатковим валовим доходом від реалізації вирощеної продукції та сумою додаткових експлуатаційних витрат системи:

$$\Delta P = \Delta D - C_{\text{вир}}, \quad (6.3)$$

$$\Delta P = 11614160 - 8911495 = 2702665 \text{ грн./рік}$$

Термін окупності капітальних вкладень є основним техніко-економічним індикатором ефективності проєкту і показує період, за який капітальні витрати повністю компенсуються чистим прибутком від експлуатації гідромеліоративної мережі:

$$T_{\text{ок}} = K / \Delta P, \quad (6.4)$$

$$T_{\text{ок}} = 21600\,000 / 2702665 = 7,992 \approx 8 \text{ років}$$

Отриманий розрахунковий термін окупності, який становить 8 років, повністю задовольняє сучасні інвестиційні вимоги для об'єктів виробничого призначення у водогосподарському комплексі України. З урахуванням того, що нормативний строк служби поліетиленових трубопроводів ПЕ-100 становить понад 50 років, а дощувальних машин французького виробництва – не менше 20–25 років, після завершення періоду окупності (на 9-й рік експлуатації) агропідприємство отримуватиме чистий додатковий прибуток, що значно підвищить загальну рентабельність та капіталізацію господарства. Для узагальнення результатів інженерно-економічного проєктування конструктивної, технологічної та організаційної частин

дипломної роботи, всі ключові техніко-економічні індикатори зведено у єдину результуючу таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 – Зведені техніко-економічні показники (ТЕП) системи зрошення

№ з/п	Найменування техніко-економічного показника (ТЕП)	Од. вим.	Значення показника
1	Загальна площа штучного зрошення	га	255,45
2	Загальна протяжність лінійної частини закритої мережі (ПЕ-100)	м	4982
3	Кількість підключених дощувальних машин (Pivot + Liner)	шт.	2
4	Розрахункова річна потреба у поливній воді на масив	м ³	571530
5	Тарифна вартість 1 кубічного метра поливної води	грн./м ³	8,50
6	Загальний обсяг капітальних інвестицій у будівництво	грн.	21600000
7	Питомі капітальні вкладення на 1 гектар зрошуваних земель	грн./га	84556
8	Щорічні додаткові експлуатаційні операційні витрати	грн./рік	8911495
9	Додатковий щорічний валовий дохід від реалізації приросту врожаю	грн./рік	11614160
10	Додатковий щорічний чистий прибуток після покриття витрат	грн./рік	2702665
11	Розрахунковий термін окупності проєкту	років	8,0

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі обґрунтовано та розроблено комплексний проєкт організації та технології будівництва закритої напірної зрошувальної мережі для умов Покровської селищної громади Синельниківського району Дніпропетровської області. На основі просторового аналізу контурів землекористування виконано експлікацію зрошуваних площ загальним обсягом 353,5 га (нетто), де площа штучного зволоження під високорентабельними агрокультурами становить 255,45 га. Для оптимізації поливного процесу масив диференційовано на два виробничі масиви:

- на полі №1 площею 166,10 га (під кукурудзою на зерно із площею безпосереднього зрошення 116,95 га) передбачено експлуатацію стаціонарної широкозахватної дощувальної машини кругової дії Pivot радіусом 610 м;
- на полі №2 площею 187,40 га (під соєю із площею поливу 138,50 га та загальним агрокліматичним захватом до 139,45 га) – самохідної машини фронтальної дії Rain Liner із шириною конструктивного захвату 348,6 м та робочим ходом рампи вздовж поля довжиною 4000 м.

Гідравлічний розрахунок закритих водоводів, виконаний на основі мінімізації лінійних втрат та підтримання нормативних швидкостей руху води в межах 1,34–2,09 м/с, дозволив обґрунтувати параметри трубної системи із високоміцного поліетилену ПЕ-100 SDR 17 (PN 10). Розрахункова витрата води на кожну дощувальну машину становить 55,6 л/с (200 м³/год), що при їх одночасному синхронному запуску формує загальне навантаження на магістраль на рівні 111,2 л/с (400 м³/год). Для забезпечення вказаного режиму головний магістральний водовід довжиною 504 м спроектовано з труби діаметром Ø315 мм, де швидкість потоку становить 1,82 м/с при

гідравлічному похилі 9,41, а розподільчі відгалуження до машин – з труб Ø280 мм довжиною 3496 м (для ДМ Liner із робочою швидкістю 1,34 м/с та похилом 7,11) та Ø250 мм довжиною 370 м і Ø225 мм довжиною 610 м (для ДМ Pivot зі швидкістю до 2,09 м/с). Джерелом живлення системи визначено діючу насосну станцію підкачки НСП біля регулюючого басейну, яка з урахуванням необхідного вільного напору на вході дощувальних машин у 45 м, геометричної висоти підйому та сумарних лінійних і місцевих інженерних втрат повинна забезпечувати загальний напір на рівні 85 м. Розрахункова споживана електрична потужність відцентрових насосних агрегатів при загальному коефіцієнті корисної дії 80% становить 115 кВт, Конструктивна надійність мережі забезпечується монтажем 14 технологічних вузлів в оглядових залізобетонних колодязях (1 комплект Д=2,0 м та 3 комплекти Д=1,5 м), обладнаних поворотними заслінками типу «батерфляй» Ø300, Ø250 та Ø200, 13 фланцевими гідрантами, автоматичним повітряним вантузом KB-100 Ø100 та ультразвуковим витратоміром Ергомера 125-БВ, а також спорудженням 3 монолітних бетонних упорів УГ-21 об'ємом бетону 1,32 м³ кожен на кутах повороту трубопроводу.

У розробленій організаційно-технологічній частині проєкту доведено високу ефективність неперервного потокового методу виконання будівельно-монтажних робіт із розподілом траси на захватки довжиною 150 м. Загальний обсяг механізованих земляних робіт складає 5991 м³, що включає зняття 1993 м³ родючого чорнозему та розробку 2790 м³ траншей з вертикальними стінками екскаваторами Komatsu PC-30 з місткістю ковша 0,25 м³. Зворотне засипання захисного шару та фінальна рекультивація із насуванням гумусу виконуються бульдозером Komatsu D51, а монтаж з/б кілець колодязів та прокладання 4974 м ПЕ-турб – автомобільним краном КС-3577 вантажопідйомністю 14 т.

Робота комплексної бригади чисельністю 15 осіб забезпечує виконання всього циклу за 42 робочі дні (325 людино-днів) із коефіцієнтом рівномірності руху робочої сили 0,73 та прямим фондом заробітної плати у

сумі 627250 грн. за умови середньої тарифної ставки 1930 грн. за один людино-день.

Економічні розрахунки на базі ринкових цін 2026 року підтвердили високу рентабельність: загальний обсяг капітальних інвестицій становить 21,6 млн. грн. (питомі вкладення – 84556 грн./га), а щорічні операційні експлуатаційні витрати (включно з вартістю 571530 м³ поливної води за тарифом 8,50 грн./м³, витратами на електроенергію, дизельне паливо та інтенсивні агротехнології) складають 8,9 млн. грн. Завдяки приросту врожайності кукурудзи з 4,5 до 11,0 т/га та сої з 1,7 до 3,8 т/га, додатковий щорічний валовий дохід становить 11,6 млн. грн., що гарантує отримання 2,7 млн. грн. чистого прибутку на рік та забезпечує розрахунковий термін окупності проекту – 8 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Покровська селищна об'єднана територіальна громада: офіційний портал «Децентралізація».
2. Горб А.С. Клімат Дніпропетровської області / Горб А.С., Дук Н.М. – Д.: ДНУ, 2006. – 204 с.
3. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2022 рік. Дніпро: Дніпропетровська ОДА, 2023. 245 с.
4. ДБН В.2.4-1-99. Меліоративні системи та споруди. – Київ: Держбуд України. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2013.
5. ДСТУ-Н Б В.2.5-40:2009. Проектування та монтаж мереж водопостачання та каналізації з пластикових труб. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.
6. ДСТУ Б В.2.6-106:2010. Конструкції будинків і споруд. Збірні бетонні та залізобетонні вироби. Загальні технічні умови. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011.
7. Напірні трубопроводи зрошувальних систем і систем водопостачання: ВБН А.3.1-33-2.4-01-99. – Держводгосп України. Київ 1999.
8. Сільськогосподарські і меліоративні машини: Навчальний посібник / Кошук О. Б., Лузан П. Г., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. – К. : ПТОО НАПН України, 2015. – 291 с
9. Сукач М.К. Будівельні машини і обладнання: підручник.– К.: Видавництво Ліра-К, 2016.– 390 с.

10. Технологія будівельного виробництва: Підручник / М. Г. Ярмоленко, Є. Г. Романушко, В. І. Терновий та ін.; За ред. М. Г. Ярмоленка. 2-ге вид., допов. і переробл. К.: Вища шк., 2005. - 342 с.
11. Якименко О. В. Земляні роботи: навч. посібник / О. В. Якименко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 157 с
12. Організація і технологія будівельних робіт. Практикум: навч. посібник / А. А. Білецький, С. В. Клімов, О. І. Ольховик, І. А. Рощик. – Рівне : НУВГП, 2019. – 93 с.
13. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи (РЕКН). Збірники нормативів часу та ресурсів / Держбуд України; Мінрегіон України. Київ : Інпроект, 2001–2021.
14. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2016.
15. ДСТУ Б А.3.1-22:2013. Визначення тривалості будівництва об'єктів. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2014.
16. ДСТУ-Н Б А.3.1-23:2013. Настанова щодо організації потокового будівництва. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2014.
17. ДБН А.3.2-2:2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.
18. Охорона праці в агропромисловому комплексі: підручник / [А. С. Беліков, К. М. Сухий, А. С. Кобець та ін.]; МОН України; УДУНТ; ДДАЕУ; під заг. ред. засл. діяча науки і техніки України, д.т.н., проф. А. С. Белікова. – Дніпро: Журфонд, 2025. – 644 с.