

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра водогосподарської інженерії

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри водогосподарської
інженерії, доцент _____ Андрій ТКАЧУК
«_____» червня 2026 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **Проект зрошення дощувальними машинами
фронтальної дії Variant irrigation в фермерському
господарстві «Алгоритм» Дніпровського району
Дніпропетровської області**

Виконав: здобувач вищої освіти,
групи ГТБ-1-22
Спеціальності: 194 «Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні
технології»
Освітньої програми: «Водна інженерія
та водні технології»

Андрій ПИТЛИК

(прізвище та ініціали)

Керівник : доц. Віктор ДОЦЕНКО

(прізвище та ініціали)

Рецензенти :

(прізвище та ініціали)

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
 Факультет водогосподарської інженерії та екології
 Кафедра водогосподарської інженерії
 перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
 Спеціальність – 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»
 Освітня програма «Водна інженерія, та водні технології»

З А Т В Е Р Д Ж У Ю :

Зав. кафедрою водогосподарської інженерії

доц. _____ Андрій ТКАЧУК

«__» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу здобувачу вищої освіти

Питлику Андрію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: **Проект зрошення дощувальними машинами фронтальної дії Variant irrigation в фермерському господарстві «Алгоритм» Дніпровського району Дніпропетровської області**

керівник роботи _____ Доценко Віктор Іванович, к. с.-г. н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по ДДАЕУ від «24» квітня 2026 р. № 819

1. Термін здачі закінченої роботи : «16» червня 2026 р.
2. Вихідні дані до роботи: Топографічні вишукування ділянки проєктування у фермерському господарстві «Алгоритм» Дніпровського району Дніпропетровської області.
Довідкові матеріали щодо природно-кліматичних, ґрунтових, геологічних та гідрогеологічних умов району проєктування.
Матеріали щодо структури сільськогосподарського виробництва, сівозміни та потреби сільськогосподарських культур у зрошенні.
Технічні характеристики дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation.
Довідкові та нормативні матеріали для розрахунку режиму зрошення, гідравлічного розрахунку зрошувальної мережі, підбору трубопроводів, насосного обладнання та гідротехнічних споруд.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити) : Вступ. 1. Природні умови району зрошення. 2. Характеристика сільськогосподарського виробництва фермерського господарства «Алгоритм». 3.

Режим зрошення і техніка поливу сільськогосподарських культур. 4. **Проектування і розрахунок зрошувальної мережі з використанням дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation.** 5. **Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаної літератури. Додатки.**

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Презентація в середовищі Power Point: постановча частина кваліфікаційної роботи; природно кліматичні умови, результати досліджень, креслення, висновки.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: «24» квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Природні умови району зрошення.	24.04.2026 р.	
2	Характеристика сільськогосподарського виробництва фермерського господарства «Алгоритм».	30.05.2026 р.	
3	Режим зрошення і техніка поливу сільськогосподарських культур.	06.06.2026 р.	
4	Проектування і розрахунок зрошувальної мережі з використанням дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation.	10.06.2026 р.	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	12.06.2026 р.	
6	Висновки.	15.06.2026 р.	
7	Список використаної літератури.	15.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Андрій ПИТЛИК
(підпис)

Керівник роботи _____ Віктор ДОЦЕНКО
(підпис)

ЗМІСТ

ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ.....	4
ВСТУП	7
1. ПРИРОДНІ УМОВИ РАЙОНУ ЗРОШЕННЯ.....	12
1.1 Геоморфологічна характеристика території проектування.....	14
1.2 Геологічні та гідрогеологічні умови.....	17
1.3 Кліматична характеристика району проектування	21
1.4 Характеристика ґрунтового покриву	26
1.5 Джерело зрошення та його характеристика.....	31
2.ХАРАКТЕРИСТИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ФГ «АЛГОРИТМ»	36
2.1 Загальна характеристика господарства	36
2.2 Структура посівних площ і напрям виробництва.....	40
2.3 Обґрунтування необхідності зрошення.....	46
2.4 Особливості вирощування сільськогосподарських культур в умовах зрошення.....	52
3.РЕЖИМ ЗРОШЕННЯ І ТЕХНІКА ПОЛИВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР.....	60
3.1 Вибір розрахункового року заданої забезпеченості.....	61
3.2 Визначення поливних і зрошувальних норм	65
3.3 Визначення строків і кількості поливів	74
3.4 Обґрунтування способу поливу.....	81
3.5 Технічна характеристика дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation.....	87
3.6 Розрахунок продуктивності дощувальних машин	95
3.7 Побудова графіка поливів запроєктованої сівозміни.....	105
4. ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ.....	115
4.1 Визначення конструкції зрошувальної мережі.....	116
4.2 Визначення розрахункових витрат води	122
4.3 Гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі	125
4.4 Підбір діаметрів трубопроводів	133
4.5 Визначення втрат напору в мережі.....	136
4.6 Підбір насосного обладнання.....	139
4.7 Проектування гідротехнічних споруд на зрошувальній мережі.....	145
4.8 Проектування доріг, лісосмуг та організація території зрошуваного масиву.....	152
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	158
5.1 Організація безпечної експлуатації зрошувальної системи.....	158
5.2 Вимоги охорони праці під час роботи насосної станції, трубопроводної мережі та дощувальних машин	162

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації зрошувальної системи.....	166
ВИСНОВОК	170
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	174
ДОДАТКИ	179

ВСТУП

Сільське господарство України значною мірою залежить від природно-кліматичних умов, серед яких одним із визначальних факторів є забезпеченість території вологою. У зоні Степу, до якої належить значна частина Дніпропетровської області, атмосферні опади розподіляються нерівномірно як протягом року, так і в межах вегетаційного періоду. За таких умов сільськогосподарські культури часто відчують дефіцит продуктивної вологи, особливо у критичні фази росту й розвитку. Це призводить до зниження врожайності, погіршення якості продукції, нестабільності валових зборів та зменшення економічної ефективності аграрного виробництва [1].

В умовах сучасних змін клімату проблема водозабезпечення аграрного виробництва набуває особливої актуальності. Підвищення середньорічних температур, збільшення повторюваності посушливих періодів, нерівномірність випадання опадів і зростання випаровуваності спричиняють погіршення водного режиму ґрунтів. Унаслідок цього навіть на родючих чорноземах степової зони неможливо стабільно отримувати високі врожаї без застосування меліоративних заходів. Одним із найбільш ефективних способів регулювання водного режиму ґрунту є зрошення, яке дає змогу забезпечити рослини необхідною кількістю вологи упродовж вегетаційного періоду [2].

Зрошення є важливим чинником інтенсифікації сільськогосподарського виробництва. Воно сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур, стабілізації виробництва продукції рослинництва, ефективнішому використанню земельних ресурсів, добрив, високопродуктивних сортів і гібридів. Особливо важливе значення зрошення має для господарств, що розташовані в районах

недостатнього та нестійкого зволоження. У таких умовах правильно запроєктована система зрошення дозволяє зменшити залежність урожаю від погодних факторів і забезпечити більш рівномірне надходження продукції незалежно від гідрометеорологічних умов конкретного року [3].

Для фермерського господарства «Алгоритм», розташованого в Дніпровському районі Дніпропетровської області, питання впровадження ефективної системи зрошення є особливо важливим. Територія району характеризується теплим і посушливим літом, значним випаровуванням, періодичними суховіями та недостатньою кількістю опадів у найбільш відповідальні періоди розвитку сільськогосподарських культур. Тому для забезпечення стабільного розвитку рослинництва необхідним є створення сучасної системи зрошення, яка б відповідала природним умовам території, структурі посівних площ, потребам культур у воді та технічним можливостям господарства [4].

Одним із перспективних способів поливу в умовах великих і середніх сільськогосподарських масивів є дощування. Цей спосіб зрошення наближений до природного зволоження, забезпечує рівномірний розподіл води по поверхні поля, дозволяє регулювати поливні норми, зменшує небезпеку руйнування структури ґрунту та може застосовуватися для широкого переліку сільськогосподарських культур. Дощування також дає можливість механізувати й автоматизувати процес поливу, знизити трудові витрати та підвищити загальну ефективність експлуатації зрошувальної системи [5].

У сучасних умовах особливого значення набуває використання дощувальних машин фронтальної дії. Такі машини забезпечують поступальний рух уздовж поля та дають змогу рівномірно зрошувати прямокутні або близькі до них за формою ділянки. На відміну від кругових машин, фронтальні дощувальні машини ефективніше використовують площу поля, зменшують кількість незрошуваних ділянок і можуть бути

раціональним рішенням для господарств, де конфігурація земельного масиву не дозволяє повністю реалізувати переваги кругового поливу. Застосування дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation у фермерському господарстві «Алгоритм» дає можливість створити сучасну, технологічну та ефективну систему зрошення, орієнтовану на стабільне виробництво сільськогосподарської продукції [6].

Проектування зрошувальної системи потребує комплексного підходу. Необхідно врахувати природно-кліматичні умови району, рельєф території, ґрунтовий покрив, джерело зрошення, потребу сільськогосподарських культур у воді, режим зрошення, технічні характеристики дощувальної техніки, параметри зрошувальної мережі, вимоги до охорони праці, екологічної безпеки та економічної ефективності. Недостатнє обґрунтування будь-якого з цих елементів може призвести до перевитрат води й електроенергії, нерівномірного зволоження ґрунту, зниження ефективності роботи дощувальної техніки або збільшення собівартості продукції [7].

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності розробки проекту зрошення із застосуванням сучасних дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation для умов фермерського господарства «Алгоритм» Дніпровського району Дніпропетровської області. Реалізація такого проекту дозволить поліпшити водний режим ґрунтів, підвищити продуктивність сільськогосподарських культур, зменшити ризики, пов'язані з посушливими погодними умовами, та забезпечити більш ефективне використання земельних і водних ресурсів.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка проекту зрошення дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation у фермерському господарстві «Алгоритм» Дніпровського району Дніпропетровської області з урахуванням природно-кліматичних умов району, потреб

сільськогосподарських культур у воді, технічних параметрів зрошувальної мережі та економічної ефективності впровадження проєкту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати природні умови району зрошення, зокрема геоморфологічні, геологічні, гідрогеологічні, кліматичні та ґрунтові умови території проєктування;
- охарактеризувати сільськогосподарське виробництво фермерського господарства «Алгоритм» та обґрунтувати необхідність впровадження зрошення;
- визначити особливості вирощування сільськогосподарських культур в умовах зрошення;
- виконати розрахунок режиму зрошення, визначити поливні та зрошувальні норми, строки й кількість поливів;
- обґрунтувати застосування способу поливу дощуванням із використанням дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation;
- виконати проєктування та гідравлічний розрахунок зрошувальної мережі;
- визначити основні параметри трубопроводів, гідротехнічних споруд та насосного обладнання;
- розглянути питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації зрошувальної системи;
- розрахувати економічну ефективність проєкту ділянки зрошення.

Об’єктом дослідження є процес зрошення сільськогосподарських культур у фермерському господарстві «Алгоритм» Дніпровського району Дніпропетровської області.

Предметом дослідження є проєктні параметри системи зрошення із застосуванням дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation, режим зрошення сільськогосподарських культур, зрошувальна мережа, насосне обладнання та техніко-економічні показники проєкту.

Методи дослідження, використані при виконанні кваліфікаційної роботи, включають аналіз природно-кліматичних і ґрунтових умов території, розрахункові методи визначення режиму зрошення, гідравлічні розрахунки трубопровідної мережі, методи техніко-економічного порівняння проєктних рішень, а також використання довідкових, нормативних і картографічних матеріалів. Для візуалізації об'єкта дослідження можуть застосовуватися матеріали геоінформаційних систем і дані дистанційного зондування Землі [8].

Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає в можливості використання запропонованих проєктних рішень для організації ефективного зрошення сільськогосподарських угідь фермерського господарства «Алгоритм». Розроблений проєкт може бути використаний як основа для подальшого уточнення технічних параметрів системи, підбору обладнання, планування експлуатації зрошувальної мережі та оцінювання економічної доцільності впровадження дощувального зрошення.

Отже, розробка проєкту зрошення дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation є актуальним і практично важливим завданням для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва в умовах Дніпровського району Дніпропетровської області. Запропоновані рішення спрямовані на раціональне використання водних і земельних ресурсів, стабілізацію врожайності сільськогосподарських культур та підвищення економічної результативності діяльності фермерського господарства.

1. ПРИРОДНІ УМОВИ РАЙОНУ ЗРОШЕННЯ

Природні умови району зрошення є одним із основних чинників, які визначають доцільність, технічні параметри та ефективність проєктування зрошувальної системи. При розробці проєкту зрошення необхідно враховувати рельєф території, геологічну будову, гідрогеологічні умови, кліматичні особливості, ґрунтовий покрив, наявність джерела зрошення та можливість раціонального використання водних ресурсів. Саме ці природні фактори впливають на вибір способу поливу, конструкцію зрошувальної мережі, режими зрошення сільськогосподарських культур, розміщення трубопроводів, гідротехнічних споруд і насосного обладнання.

Територія фермерського господарства «Алгоритм» розташована в межах Дніпровського району Дніпропетровської області. За природно-сільськогосподарським районуванням ця територія належить до степової зони України, для якої характерні недостатнє та нестійке зволоження, високі літні температури, значна випаровуваність, суховійні явища та нерівномірний розподіл атмосферних опадів протягом року. У таких умовах природне зволоження часто не забезпечує повної потреби сільськогосподарських культур у воді, особливо в періоди інтенсивного росту та формування врожаю [1], [4].

Дніпропетровська область розташована в центральній-східній частині України та належить до регіонів із розвиненим аграрним виробництвом. Значна частина її території використовується під рілля, що зумовлює необхідність раціонального використання земельних ресурсів і впровадження заходів, спрямованих на підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь. Одним із таких заходів є зрошення, яке дозволяє регулювати водний режим ґрунту, зменшувати негативний вплив

посух і забезпечувати стабільні врожаї сільськогосподарських культур [2], [3].

Проектування зрошувальної системи в умовах Дніпровського району повинно базуватися на комплексному аналізі природних умов. Особливе значення мають рельєф території та геоморфологічна будова, оскільки вони визначають напрямки поверхневого стоку, можливість розвитку ерозійних процесів, умови прокладання закритої зрошувальної мережі та ефективність роботи дощувальної техніки. Для дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation важливими є рівнинність поля, допустимі ухили поверхні, зручність прямолінійного руху машини та можливість рівномірного розподілу поливної води по всій площі зрошення [6], [7].

Кліматичні умови району також мають вирішальне значення для обґрунтування необхідності зрошення. Висока температура повітря в літній період, значна випаровуваність, тривалі бездощові періоди та нерівномірний розподіл опадів призводять до дефіциту вологи в кореневмісному шарі ґрунту. За таких умов вирощування сільськогосподарських культур без зрошення супроводжується значними коливаннями врожайності, що негативно впливає на економічну стабільність господарства [4].

Ґрунтовий покрив території проектування також є важливим фактором при розробці системи зрошення. Від типу ґрунтів, їхнього гранулометричного складу, водопроникності, вологоємності та протиерозійної стійкості залежить вибір поливних норм, інтенсивності дощу, тривалості поливу та режиму роботи дощувальних машин. При неправильному призначенні поливних норм можливе утворення поверхневого стоку, погіршення структури ґрунту, розвиток ерозійних процесів або неефективне використання зрошувальної води [5], [7].

Таким чином, природні умови району зрошення мають безпосередній вплив на всі основні проєктні рішення. Для фермерського господарства

«Алгоритм» необхідно врахувати степовий характер території, недостатність природного зволоження, особливості рельєфу, ґрунтового покриву та вимоги до роботи дощувальних машин фронтальної дії. Комплексне врахування цих чинників дозволить розробити ефективну, технічно обґрунтовану та економічно доцільну систему зрошення.

1.1 Геоморфологічна характеристика території проєктування

Територія проєктування зрошувальної системи у фермерському господарстві «Алгоритм» розташована в межах Дніпровського району Дніпропетровської області. У геоморфологічному відношенні ця територія належить до рівнинних просторів степової зони України, для яких характерне переважання вододільних рівнин, слабкохвилястих поверхонь, пологих схилів, балок, улоговин та долинно-балкових форм рельєфу. Загальний характер рельєфу є сприятливим для ведення сільськогосподарського виробництва, розміщення польових сівозмін і впровадження сучасних систем зрошення [2].

Формування сучасної поверхні району пов'язане з тривалим впливом геологічних, кліматичних та ерозійно-аккумулятивних процесів. Для території Дніпропетровської області характерне поширення лесових і лесоподібних порід, які є основою формування родючих чорноземних ґрунтів. Водночас такі породи можуть бути чутливими до водної ерозії, особливо на схилових ділянках, тому при проєктуванні зрошення необхідно враховувати ухили поверхні, напрямки стоку та можливість локального змиву ґрунту [4], [5].

Поверхня території проєктування переважно рівнинна або слабкохвиляста. Такі умови є сприятливими для використання дощувальних машин фронтальної дії, оскільки вони потребують відносно вирівняної поверхні поля та можливості прямолінійного руху вздовж

зрошуваної ділянки. На рівнинних ділянках легше забезпечити рівномірне переміщення машини, стабільний тиск у трубопроводах і рівномірний розподіл води по всій площі поливу [6].

Разом із тим у межах району можуть зустрічатися окремі пониження, балки, улоговини та слабо виражені схилів ділянки. Такі форми рельєфу мають значення для організації території зрошуваного масиву, оскільки вони можуть впливати на накопичення поверхневих вод, умови руху сільськогосподарської техніки та можливість розвитку ерозійних процесів. Понижені ділянки можуть бути зонами тимчасового перезволоження, а схилів — потенційно небезпечними щодо утворення поверхневого стоку під час інтенсивних опадів або неправильно організованого поливу.

Рельєф території безпосередньо впливає на розміщення елементів зрошувальної системи. При проєктуванні закритої зрошувальної мережі необхідно враховувати природні ухили місцевості, щоб забезпечити надійну роботу трубопроводів, мінімізувати обсяги земляних робіт і створити умови для зручної експлуатації системи. Траси трубопроводів доцільно прокладати таким чином, щоб уникати різких перепадів висот, перетину ерозійно небезпечних ділянок і надмірного заглиблення труб.

На підвищених ділянках трубопровідної мережі необхідно передбачати встановлення пристроїв для випуску повітря, оскільки скупчення повітря в трубах може знижувати пропускну здатність мережі та спричиняти порушення її роботи. У понижених місцях доцільно передбачати споруди для спорожнення трубопроводів, що особливо важливо при сезонній експлуатації зрошувальної системи та підготовці її до зимового періоду [7].

Важливим геоморфологічним фактором для проєктування дощування є небезпека утворення поверхневого стоку під час поливу. Якщо інтенсивність штучного дощу перевищує водопроникність ґрунту, вода не встигає вбиратися в ґрунт і починає стікати по поверхні. Це може призвести до нерівномірного зволоження поля, втрат поливної води, вимивання

поживних речовин і розвитку площинної ерозії. Тому при використанні дощувальних машин фронтальної дії необхідно добирати такий режим поливу, щоб інтенсивність дощу відповідала природним властивостям ґрунту й ухилам поверхні [5], [7].

Особливістю дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation є те, що вони рухаються вздовж поля поступально та забезпечують зрошення смуги значної ширини. Для ефективної роботи таких машин бажано, щоб зрошувана ділянка мала правильну або близьку до прямокутної форму, рівну поверхню та мінімальну кількість перешкод. Геоморфологічні умови Дніпровського району загалом дозволяють розміщувати такі машини на польових масивах, однак остаточне трасування руху машини повинно виконуватися з урахуванням конкретної конфігурації поля, ухилів, доріг, лісосмуг, балок та інших елементів місцевості.

З погляду експлуатації зрошувальної системи, рівнинний і слабкохвилястий рельєф має низку переваг. Він полегшує будівництво закритої трубопровідної мережі, забезпечує зручний доступ до гідрантів, зменшує складність переміщення дощувальної техніки та сприяє більш рівномірному зволоженню ґрунту. Крім того, на вирівняних ділянках легше організувати польові дороги, розворотні смуги, обслуговування насосного обладнання та проведення агротехнічних заходів.

Водночас навіть за сприятливого рельєфу необхідно дотримуватися вимог раціонального проєктування та експлуатації системи. Не допускається подача надмірних поливних норм, які можуть спричинити поверхневий стік або перезволоження ґрунту. Також необхідно враховувати природні пониження, у яких може накопичуватися вода, та передбачати заходи щодо запобігання локальному заболочуванню або погіршенню повітряного режиму ґрунту.

Отже, геоморфологічні умови території фермерського господарства «Алгоритм» можна оцінити як загалом сприятливі для проєктування

системи зрошення дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation. Переважання рівнинних і слабкохвилястих поверхонь створює умови для раціонального розміщення зрошуваних полів, прокладання закритої зрошувальної мережі та ефективної роботи дощувальної техніки. Разом із тим під час проєктування необхідно враховувати локальні особливості рельєфу, наявність балок, понижень, схилів і потенційно ерозійно небезпечних ділянок, щоб забезпечити надійну, безпечну та економічно ефективну експлуатацію системи.

1.2 Геологічні та гідрогеологічні умови

Геологічні та гідрогеологічні умови території проєктування мають важливе значення при розробці системи зрошення, оскільки вони впливають на вибір конструкції зрошувальної мережі, глибину закладання трубопроводів, умови будівництва гідротехнічних споруд, фільтраційні властивості ґрунтів, рівень залягання підземних вод і можливість виникнення негативних меліоративних процесів. При проєктуванні зрошення необхідно враховувати склад ґрунтоутворювальних і підстильних порід, водопроникність ґрунтової товщі, глибину залягання ґрунтових вод, напрямок їх руху, мінералізацію та потенційний вплив зрошення на водно-сольовий режим ґрунтів.

Територія фермерського господарства «Алгоритм» розташована в межах Дніпровського району Дніпропетровської області, який належить до центральної частини степової зони України. У геологічному відношенні ця територія пов'язана з давніми платформними структурами Українського щита та прилеглих осадових товщ. Для району характерне поширення осадових відкладів різного віку, серед яких значну роль відіграють лесові та лесоподібні суглинки, глинисті породи, супіски, піски, а також алювіальні відклади в межах річкових долин і балкових понижень [2], [4].

Верхня частина геологічного розрізу території проєктування, як правило, представлена ґрунтово-рослинним шаром, під яким залягають лесові та лесоподібні суглинки. Саме ці породи є основою формування чорноземних ґрунтів, поширених у степовій зоні Дніпропетровської області. Лесові суглинки мають добрі агропромислові властивості, проте за певних умов можуть бути чутливими до просідання, ущільнення та водної ерозії. Тому при проєктуванні зрошення необхідно не допускати надмірного зволоження ґрунту, утворення поверхневого стоку та перезволоження понижених ділянок.

У межах території можуть зустрічатися такі основні літологічні різновиди порід: гумусований ґрунтовий шар, лесоподібні суглинки, супіщані відклади, глинисті прошарки, а в окремих місцях — піщані та алювіальні утворення. Потужність ґрунтово-рослинного шару зазвичай становить 0,3–0,6 м, нижче залягають суглинки різного механічного складу. У долинних і балкових пониженнях геологічна будова може бути більш строкатою за рахунок накопичення делювіальних та алювіальних відкладів.

Для будівництва закритої зрошувальної мережі найбільш важливими є фізико-механічні властивості верхніх шарів ґрунту, оскільки саме в них передбачається прокладання трубопроводів. Суглинисті та супіщані ґрунти загалом є придатними для виконання земляних робіт і влаштування траншей під трубопроводи. Водночас при будівництві необхідно враховувати можливість осипання стінок траншей у пухких відкладах, розмокання ґрунтів під час опадів або поливу, а також необхідність якісного ущільнення зворотної засипки після укладання труб.

Гідрогеологічні умови території визначаються глибиною залягання підземних вод, їхнім режимом, хімічним складом і зв'язком із поверхневими водами. Для степових районів Дніпропетровської області характерне переважно відносно глибоке залягання ґрунтових вод на вододільних і слабкохвилястих ділянках. У таких умовах підземні води

зазвичай не мають безпосереднього впливу на кореневмісний шар ґрунту, що є сприятливим для організації зрошення. Проте в понижених елементах рельєфу, балках, улоговинах і поблизу водотоків рівень ґрунтових вод може залягати ближче до поверхні.

При впровадженні зрошення важливо не допустити підняття рівня ґрунтових вод до критичних глибин. Надмірне зволоження території та систематичні втрати води з мережі можуть призвести до підтоплення, вторинного засолення або осолонцювання ґрунтів. Особливо небезпечними такі процеси є на ділянках із поганим природним дренажуванням, у пониженнях рельєфу та на ґрунтах із важким гранулометричним складом [5], [7].

Зрошувальна система, що проєктується, передбачає використання закритої трубопровідної мережі та дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Такий тип системи є більш сприятливим з погляду гідрогеологічної безпеки порівняно з відкритими каналами, оскільки зменшує фільтраційні втрати води, знижує ризик підтоплення прилеглих земель і забезпечує більш раціональне використання водних ресурсів. Закрита мережа також дозволяє точніше регулювати подачу води до дощувальних машин і зменшувати непродуктивні втрати під час транспортування води.

При проєктуванні трубопроводів необхідно враховувати глибину промерзання ґрунту, фізико-механічні властивості порід, наявність понижених ділянок і можливість сезонного коливання вологості ґрунту. Трубопроводи слід закладати на такій глибині, щоб забезпечити їх захист від механічних пошкоджень, температурних впливів і навантажень від сільськогосподарської техніки. У місцях зміни рельєфу та на переломах профілю необхідно передбачати відповідні гідротехнічні елементи: вантузи, споруди для спорожнення мережі, оглядові колодязі та запірну арматуру.

Важливим фактором є водопроникність ґрунтів. На суглинистих ґрунтах швидкість вбирання води нижча, ніж на супіщаних, тому при дощуванні необхідно правильно добирати інтенсивність штучного дощу. Якщо інтенсивність дощу перевищуватиме здатність ґрунту вбирати воду, можливе утворення поверхневого стоку, ущільнення верхнього шару ґрунту та розвиток ерозійних процесів. Тому режим роботи дощувальних машин Variant Irrigation повинен забезпечувати поступове й рівномірне зволоження ґрунту без перевищення його водопоглинальної здатності.

З гідрогеологічного погляду особливу увагу потрібно приділяти якості зрошувальної води. Вода, що використовується для поливу, повинна відповідати вимогам щодо мінералізації, хімічного складу та придатності для зрошення сільськогосподарських культур. Використання води незадовільної якості може спричинити погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунту, накопичення солей у кореневмісному шарі та зниження родючості. Тому при експлуатації системи необхідно періодично контролювати якість зрошувальної води та стан ґрунтів [1], [7].

Загалом геологічні умови території фермерського господарства «Алгоритм» можна оцінити як сприятливі для будівництва закритої зрошувальної мережі. Поширення суглинистих і супіщаних відкладів дозволяє виконувати земляні роботи, прокладати трубопроводи та влаштовувати гідротехнічні споруди без значних технічних ускладнень. Водночас при проєктуванні необхідно враховувати локальні особливості ґрунтової товщі, можливу неоднорідність порід, просадні властивості лесоподібних суглинків і необхідність запобігання ерозійним процесам.

Гідрогеологічні умови також є загалом придатними для впровадження зрошення, за умов дотримання раціонального режиму поливу, використання закритої мережі та недопущення фільтраційних втрат. Глибоке залягання ґрунтових вод на вододільних ділянках знижує ризик підтоплення, однак у понижених частинах території необхідно

контролювати водний режим ґрунтів. Правильне проектування та експлуатація системи дозволять уникнути негативних меліоративних наслідків і забезпечити стабільне функціонування зрошувальної мережі.

Отже, геологічні та гідрогеологічні умови території проектування у фермерському господарстві «Алгоритм» є достатньо сприятливими для створення системи зрошення із застосуванням дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Основними вимогами при проектуванні є раціональне прокладання закритої трубопровідної мережі, врахування властивостей лесоподібних і суглинистих ґрунтів, запобігання фільтраційним втратам, контроль рівня ґрунтових вод і забезпечення такого режиму поливу, який не призводитиме до перезволоження, ерозії або вторинного засолення ґрунтів.

1.3 Кліматична характеристика району проектування

Кліматичні умови є одним із головних природних чинників, які визначають необхідність зрошення, режим поливів, величину зрошувальних і поливних норм, строки проведення поливів, а також ефективність використання дощувальних машин. Для території Дніпровського району Дніпропетровської області клімат має виражений помірно континентальний характер із теплим, часто посушливим літом, відносно холодною зимою, нестійким сніговим покривом, значною випаровуваністю та нерівномірним розподілом атмосферних опадів протягом року [4].

Район проектування розташований у степовій зоні України, де природне зволоження є недостатнім і нестійким. Основна частина атмосферних опадів припадає на теплий період року, однак їх розподіл у часі є нерівномірним. Часто спостерігаються тривалі бездощові періоди, особливо у червні, липні та серпні, коли сільськогосподарські культури

мають найбільшу потребу у воді. У цей період дефіцит вологи в ґрунті може істотно обмежувати ріст і розвиток рослин, знижувати врожайність та погіршувати якість продукції.

Середньорічна температура повітря в районі проєктування становить приблизно $+8,5...+10,0$ °C. Найхолоднішим місяцем року є січень, середня температура якого зазвичай має від'ємні значення. Найвищі температури спостерігаються в липні, коли середньомісячна температура повітря становить близько $+21...+23$ °C, а в окремі спекотні періоди максимальна температура може підвищуватися до $+35$ °C і вище. Такі температурні умови сприяють інтенсивному випаровуванню вологи з поверхні ґрунту та транспірації рослин, що підвищує потребу культур у додатковому зволоженні [4].

Тривалість теплового періоду року є достатньою для вирощування основних польових культур, зокрема озимої пшениці, ячменю, кукурудзи, соняшнику, сої, багаторічних трав та інших культур. Період із середньодобовою температурою повітря вище $+10$ °C триває орієнтовно з квітня до жовтня. Саме в цей період відбувається основна вегетація більшості сільськогосподарських культур, тому забезпеченість ґрунту вологою впродовж весняно-літнього сезону має вирішальне значення для формування врожаю.

Весна в районі проєктування зазвичай настає порівняно рано, але характеризується нестійкими погодними умовами. У цей період можливі різкі коливання температури, повернення холодів і весняні заморозки. Запаси продуктивної вологи в ґрунті навесні значною мірою залежать від кількості опадів у холодний період року, висоти снігового покриву та умов сніготанення. Оскільки сніговий покрив у степовій зоні часто нестійкий і малопотужний, весняні запаси вологи не завжди є достатніми для нормального розвитку культур.

Літо в Дніпровському районі тепле, тривале й часто посушливе. У літній період переважають високі температури повітря, низька відносна вологість, значна кількість сонячної радіації та підвищена випаровуваність. Саме влітку найбільш часто виникають посухи та суховії, які негативно впливають на стан сільськогосподарських культур. Суховійні явища супроводжуються високою температурою повітря, низькою відотною вологістю та підвищеною швидкістю вітру. За таких умов рослини швидко втрачають вологу, а коренева система не завжди може компенсувати ці втрати за рахунок запасів ґрунтової води.

Атмосферні опади на території району проєктування розподіляються нерівномірно. Середньорічна кількість опадів для степової частини Дніпропетровської області становить приблизно 450–550 мм, однак у посушливі роки ця величина може бути значно меншою. Найбільша кількість опадів зазвичай припадає на теплий період року, проте літні опади часто мають зливовий характер. Унаслідок цього значна частина води може втрачатися через поверхневий стік або швидке випаровування, особливо на ущільнених ґрунтах чи схилових ділянках. Тому навіть за відносно достатньої річної суми опадів рослини можуть відчувати дефіцит вологи у критичні фази розвитку [4], [5].

Важливим показником для оцінки потреби в зрошенні є співвідношення між кількістю атмосферних опадів і випаровуваністю. У районі проєктування випаровуваність у теплий період року часто перевищує кількість опадів. Це означає, що природне зволоження не компенсує втрати води з ґрунту та рослинного покриву. У таких умовах формується дефіцит водного балансу, який необхідно покривати за рахунок зрошення. Саме тому для стабільного отримання високих урожаїв у фермерському господарстві «Алгоритм» доцільним є застосування дощувального зрошення.

Вітровий режим також має важливе значення при проєктуванні та експлуатації дощувальних машин. Для Дніпропетровської області характерні вітри різних напрямків, серед яких у теплий період року можуть переважати східні, південно-східні та північні вітри. Підвищена швидкість вітру під час роботи дощувальних машин може знижувати рівномірність розподілу води по полю, збільшувати втрати на знесення крапель і випаровування, а також погіршувати якість поливу. Тому при експлуатації дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation необхідно враховувати допустимі швидкості вітру та за потреби коригувати строки проведення поливів.

Особливо несприятливими для дощування є умови, коли висока температура повітря поєднується з низькою відносною вологістю та сильним вітром. У таких випадках зростають непродуктивні втрати води, а частина дрібних крапель може випаровуватися ще до потрапляння на поверхню ґрунту. Тому найбільш доцільним є проведення поливів у ранкові, вечірні або нічні години, коли температура повітря нижча, вологість вища, а швидкість вітру зазвичай менша. Такий режим роботи дає змогу підвищити ефективність використання зрошувальної води та забезпечити більш рівномірне зволоження ґрунту [7].

Осінній період характеризується поступовим зниженням температури повітря, збільшенням відносної вологості та зменшенням випаровуваності. У цей час умови для накопичення вологи в ґрунті покращуються, однак за посушливої осені може виникати потреба у передпосівному або вологозарядковому поливі, особливо під озимі культури. Забезпечення достатньої вологості ґрунту восени має велике значення для отримання дружних сходів, нормального куціння озимих і підготовки рослин до перезимівлі.

Зима в районі проєктування помірно холодна, з нестійким сніговим покривом. Часті відлиги, чергування морозних і теплих періодів, а також

невелика висота снігового покриву призводять до нерівномірного накопичення вологи в ґрунті. Глибина промерзання ґрунту залежить від температурного режиму, тривалості морозного періоду, наявності снігового покриву та вологості ґрунту. Цей показник необхідно враховувати при визначенні глибини закладання трубопроводів зрошувальної мережі, щоб забезпечити їх захист від температурних впливів і механічних пошкоджень.

Кліматичні умови території проєктування безпосередньо впливають на вибір режиму зрошення. Через значну випаровуваність, часті посушливі періоди та нерівномірне випадання опадів необхідно передбачити проведення вегетаційних поливів у найбільш відповідальні фази розвитку культур. Для кожної культури поливний режим має встановлюватися з урахуванням її біологічних особливостей, глибини розвитку кореневої системи, критичних періодів водоспоживання, запасів продуктивної вологи в ґрунті та прогнозованих погодних умов.

Для роботи дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation кліматичні умови району є загалом придатними, однак потребують дотримання раціональної організації поливів. У літній період необхідно враховувати високу температуру повітря, суховії та можливість втрат води під час дощування. Правильний вибір поливних норм, інтенсивності дощу, швидкості руху машини та часу проведення поливу дозволяє зменшити втрати води, запобігти утворенню поверхневого стоку та забезпечити рівномірне зволоження кореневмісного шару ґрунту.

Отже, кліматичні умови Дніпровського району Дніпропетровської області характеризуються недостатнім і нестійким зволоженням, високими літніми температурами, значною випаровуваністю, суховіями та нерівномірним розподілом опадів. Такі особливості свідчать про необхідність застосування зрошення для стабілізації врожайності сільськогосподарських культур. Використання дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation у фермерському господарстві «Алгоритм»

є обґрунтованим рішенням, оскільки дозволяє регулювати водний режим ґрунту, забезпечувати рослини вологою у критичні періоди розвитку та підвищувати ефективність використання земельних ресурсів.

1.4 Характеристика ґрунтового покриву

Ґрунтовий покрив є одним із найважливіших природних факторів, які враховуються при проєктуванні системи зрошення. Від типу ґрунтів, їхнього гранулометричного складу, водно-фізичних властивостей, вмісту гумусу, водопроникності, вологоємності та протиерозійної стійкості залежить вибір режиму зрошення, величина поливних норм, інтенсивність штучного дощу, тривалість поливу та ефективність використання зрошувальної води. Неправильне врахування ґрунтових умов може призвести до перезволоження, ущільнення ґрунту, утворення поверхневого стоку, ерозії або вторинного засолення [5], [7].

Територія фермерського господарства «Алгоритм» розташована в межах Дніпровського району Дніпропетровської області, який належить до степової зони України. Для цієї території характерне поширення чорноземних ґрунтів, які є основним ґрунтовим ресурсом регіону та мають високу природну родючість. Чорноземи сформувалися під степовою трав'янистою рослинністю в умовах помірно посушливого клімату, на лесових і лесоподібних суглинках. Вони характеризуються значним вмістом гумусу, доброю структурністю, достатньою потужністю гумусового горизонту та сприятливими агровиробничими властивостями [4], [5].

У межах Дніпропетровської області найбільш поширеними є чорноземи звичайні та чорноземи південні, які відрізняються між собою потужністю гумусового горизонту, вмістом гумусу, карбонатністю та водно-фізичними властивостями. Для Дніпровського району характерними є переважно

чорноземи звичайні середньо- та малогумусні, сформовані на лесоподібних суглинках. Такі ґрунти мають високий потенціал родючості, однак в умовах недостатнього природного зволоження їхня продуктивність значною мірою залежить від запасів продуктивної вологи в кореневмісному шарі.

Гумусовий горизонт чорноземів зазвичай має темно-сіре або чорне забарвлення, грудкувато-зернисту структуру та сприятливі умови для розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур. Значна потужність гумусового шару забезпечує високий запас поживних речовин, добру аерацію та здатність ґрунту накопичувати вологу. Водночас у степових умовах навіть родючі чорноземи часто не можуть забезпечити рослини вологою впродовж усього вегетаційного періоду, оскільки втрати води на випаровування і транспірацію перевищують кількість атмосферних опадів [3], [4].

За гранулометричним складом ґрунти району проєктування переважно належать до середньосуглинкових і важкосуглинкових. Такі ґрунти мають досить високу вологоємність і здатні утримувати значні запаси продуктивної вологи. Разом із тим їхня водопроникність є нижчою, ніж у легких супіщаних ґрунтів, тому при зрошенні необхідно ретельно добирати інтенсивність дощу та тривалість поливу. Якщо вода подається занадто інтенсивно, вона не встигає вбиратися в ґрунт, що може спричинити утворення поверхневого стоку та нерівномірне зволоження поля.

Водно-фізичні властивості чорноземів є загалом сприятливими для зрошення. Вони мають високу капілярну вологоємність, добру структурність і здатність забезпечувати рослини вологою протягом певного часу після поливу. Проте в умовах тривалих бездощових періодів запаси вологи в активному шарі ґрунту швидко зменшуються. Особливо це проявляється влітку, коли високі температури повітря, низька відносна вологість і суховії підсилюють випаровування. Саме тому для підтримання

оптимального водного режиму ґрунтів необхідне проведення регулярних вегетаційних поливів.

Для дощувального зрошення важливим показником є водопроникність ґрунту. Вона визначає, яку кількість води ґрунт здатний увібрати за певний час без утворення поверхневого стоку. На чорноземах середнього та важкого гранулометричного складу інтенсивність штучного дощу повинна бути помірною та не перевищувати швидкість вбирання води ґрунтом. У зв'язку з цим при використанні дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation необхідно встановлювати такий режим роботи, який забезпечить рівномірне зволоження ґрунту без перезволоження поверхневого шару.

Поливна норма для таких ґрунтів має визначатися з урахуванням глибини активного шару кореневої системи культури, найменшої вологості ґрунту, передполивної вологості та допустимого дефіциту вологи. Для культур із глибокою кореневою системою розрахунковий шар зволоження може бути більшим, ніж для культур із поверхневим розміщенням коренів. Тому при розробці режиму зрошення необхідно враховувати не лише тип ґрунту, а й біологічні особливості кожної культури сівозміни [3], [7].

Важливе значення має також структурний стан ґрунту. Чорноземи за природних умов мають добру зернисто-грудкувату структуру, що сприяє проникненню води, повітря та розвитку кореневої системи. Однак під впливом інтенсивного механічного обробітку, руху важкої техніки, надмірного зволоження або неправильного поливу структура ґрунту може погіршуватися. Це призводить до ущільнення орного шару, зниження водопроникності, погіршення аерації та зменшення ефективності зрошення. Особливо небажаним при дощуванні є утворення ґрунтової кірки. Вона може виникати після інтенсивних поливів або зливових опадів на ділянках із розпиленням верхнім шаром ґрунту. Ґрунтова кірка погіршує повітрообмін, ускладнює появу сходів, зменшує інфільтрацію води та

сприяє поверхневому стоку. Для запобігання цьому необхідно застосовувати раціональні поливні норми, підтримувати оптимальну структуру ґрунту, використовувати ґрунтозахисні агротехнічні заходи та не допускати надмірної інтенсивності дощу.

У процесі зрошення необхідно враховувати небезпеку вторинного засолення ґрунтів. За умов неправильного режиму поливу, недостатнього природного або штучного дренажу, значних фільтраційних втрат і підняття рівня ґрунтових вод солі можуть накопичуватися у верхніх шарах ґрунту. Це погіршує фізико-хімічні властивості ґрунту, знижує доступність води для рослин і негативно впливає на врожайність. Використання закритої трубопровідної мережі та контрольоване дощування зменшують ризик таких процесів, оскільки дозволяють подавати воду більш точно й без значних непродуктивних втрат [1], [7].

Якість зрошувальної води також має безпосередній вплив на стан ґрунтового покриву. Якщо вода має підвищену мінералізацію або несприятливий іонний склад, тривале її використання може призвести до накопичення солей, погіршення структури ґрунту та зниження його родючості. Тому для забезпечення стабільної роботи зрошувальної системи необхідно контролювати хімічний склад поливної води, а також періодично оцінювати агроеліоративний стан ґрунтів на зрошуваному масиві.

З погляду протиерозійної стійкості чорноземи мають достатньо сприятливі властивості, але на схилових ділянках вони можуть зазнавати водної ерозії. У разі неправильного проведення поливів, особливо при перевищенні інтенсивності дощу над водопроникністю ґрунту, можливе змивання дрібнозему, гумусу та поживних речовин. Тому на полях із навіть незначними ухилами необхідно забезпечити рівномірну подачу води, уникати надмірних поливних норм і за потреби застосовувати протиерозійні агротехнічні заходи.

Для роботи дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation ґрунтові умови території проєктування є загалом сприятливими. Чорноземні ґрунти мають добру вологоутримувальну здатність і високу природну родючість, що дозволяє ефективно використовувати подану зрошувальну воду. При правильному режимі поливу вода рівномірно розподіляється в активному шарі ґрунту, створюючи сприятливі умови для росту й розвитку культур. Це дає можливість підвищити врожайність, стабілізувати виробництво продукції та зменшити залежність господарства від погодних умов.

Разом із тим ефективність зрошення значною мірою залежить від правильного поєднання поливного режиму з агротехнічними заходами. До таких заходів належать раціональний обробіток ґрунту, підтримання його структури, внесення органічних і мінеральних добрив, дотримання науково обґрунтованої сівозміни, боротьба з ущільненням і запобігання ерозійним процесам. Лише за комплексного підходу зрошення забезпечує не тільки підвищення врожайності, а й збереження родючості ґрунтів у довгостроковій перспективі.

Отже, ґрунтовий покрив території фермерського господарства «Алгоритм» представлений переважно родючими чорноземними ґрунтами, сформованими на лесових і лесоподібних суглинках. Вони мають високий агровиробничий потенціал, добру вологоємність і сприятливі умови для вирощування сільськогосподарських культур. Водночас недостатнє природне зволоження, значна випаровуваність і можливість пересихання кореневмісного шару зумовлюють необхідність застосування зрошення. При використанні дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation необхідно враховувати водопроникність ґрунту, не допускати утворення поверхневого стоку, перезволоження, ерозії та вторинного засолення. За умови дотримання раціонального режиму поливу ґрунтові умови району є сприятливими для створення ефективної системи дощувального зрошення.

1.5 Джерело зрошення та його характеристика

Джерело зрошення є одним із основних елементів зрошувальної системи, оскільки від його водності, якості води, віддаленості від зрошуваного масиву, умов водозабору та стабільності водоподачі залежить технічна й економічна ефективність усього проєкту. При розробці системи зрошення необхідно враховувати гідрологічний режим водного об'єкта, забезпеченість водними ресурсами у вегетаційний період, якість води для поливу, можливість улаштування водозабірної споруди, насосної станції, магістрального трубопроводу та подальшої експлуатації системи [1], [7].

Для фермерського господарства «Алгоритм», розташованого в Дніпровському районі Дніпропетровської області, як джерело зрошення доцільно прийняти поверхневе водне джерело басейну річки Оріль. Річка Оріль є однією з важливих водних артерій регіону та належить до басейну річки Дніпро. Вона є лівою притокою Дніпра, що має важливе природне, водогосподарське та екологічне значення для прилеглих територій. Басейн річки Оріль може розглядатися як потенційне джерело водозабезпечення для потреб сільськогосподарського виробництва, зокрема для організації зрошення в умовах недостатнього природного зволоження [4].

Річка Оріль протікає в межах степової та лісостепової частин України й пов'язана з територіями Харківської, Полтавської та Дніпропетровської областей. У межах Дніпропетровської області вона має значення як природний водний об'єкт, що формує місцеві умови зволоження, впливає на гідрологічний режим прилеглих земель і може використовуватися для господарських потреб за умови дотримання вимог водоохоронного законодавства. Оріль впадає в Дніпро, тому її водний режим і екологічний стан мають значення не лише для місцевого водокористування, а й для басейну Дніпра загалом.

За характером живлення річка Оріль, як і більшість рівнинних річок степової зони, живиться переважно за рахунок атмосферних опадів, талих снігових вод і частково підземного живлення. Її водний режим характеризується весняним підвищенням рівнів води внаслідок сніготанення, літньо-осінньою меженню та можливими короткочасними підйомами рівня після інтенсивних дощів. У літній період, коли потреба сільськогосподарських культур у воді є найбільшою, водність річки може зменшуватися, тому при проєктуванні зрошення необхідно враховувати забезпеченість водними ресурсами саме в розрахунковий посушливий період.

Для потреб проєктованої системи зрошення передбачається механічний водозабір із поверхневого джерела з подальшою подачею води до закритої трубопровідної мережі. Така схема є доцільною для сучасних систем дощувального зрошення, оскільки дозволяє створити необхідний напір у мережі, забезпечити стабільну витрату води та подавати її безпосередньо до дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Механічна подача води дає можливість регулювати роботу системи залежно від графіка поливів, потреб культур у воді та технічних характеристик дощувального обладнання.

Водозабірна споруда повинна забезпечувати надійне забирання води з річки упродовж усього поливного сезону. При її проєктуванні необхідно враховувати мінімальні та максимальні рівні води, можливість замулення, наявність водної рослинності, завислих часток, сміття, а також умови підведення води до насосної станції. Для захисту насосного обладнання, трубопроводів і дощувальної техніки від механічних домішок перед насосами доцільно передбачити захисні решітки, фільтрувальні пристрої або інші елементи попереднього очищення води.

Якість зрошувальної води має важливе значення для тривалого й безпечного використання системи. Вода річки Оріль, що передбачається

для поливу, повинна бути оцінена за основними агрономічними показниками: мінералізацією, вмістом солей, співвідношенням іонів натрію, кальцію та магнію, реакцією середовища, кількістю завислих речовин і наявністю можливих забруднювачів. Використання води незадовільної якості може спричинити погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунту, зниження його водопроникності, накопичення солей у кореневмісному шарі та зменшення врожайності сільськогосподарських культур [5], [7].

Для чорноземних ґрунтів Дніпровського району особливо важливо не допустити вторинного засолення або осолонцювання. Такі процеси можуть виникати за умов використання води з підвищеною мінералізацією, надмірних поливних норм, недостатнього природного дренажу або підняття рівня ґрунтових вод. Тому при експлуатації системи необхідно контролювати не лише якість зрошувальної води, а й агрономічний стан ґрунтів на зрошуваному масиві. Періодичний контроль дозволяє своєчасно виявляти негативні зміни й коригувати режим поливу.

Транспортування води від джерела до зрошуваного масиву доцільно здійснювати закритою трубопроводною мережею. Така мережа має значні переваги порівняно з відкритими каналами: зменшує втрати води на фільтрацію та випаровування, запобігає заростанню водопровідних шляхів, знижує ризик підтоплення прилеглих територій, підвищує коефіцієнт корисної дії системи та забезпечує стабільніші умови роботи дощувальних машин. Закрита мережа також зручніша в експлуатації та краще відповідає вимогам сучасної дощувальної техніки.

При подачі води до дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation необхідно забезпечити відповідні гідравлічні параметри: розрахункову витрату, робочий напір, стабільність тиску та можливість регулювання подачі. Недостатній тиск у мережі може призвести до нерівномірного розподілу води по довжині дощувальної машини,

погіршення якості штучного дощу та нерівномірного зволоження поля. Надмірний тиск, навпаки, збільшує витрати електроенергії, навантаження на трубопроводи й арматуру, а також може знижувати економічну ефективність системи.

Режим роботи насосної станції повинен бути узгоджений із графіком поливів і потребою культур у воді. Найбільша потреба у зрошувальній воді виникає в літній період, коли спостерігаються високі температури повітря, значна випаровуваність і дефіцит атмосферних опадів. Саме в цей час джерело зрошення та насосне обладнання працюють із найбільшим навантаженням. Тому під час подальшого проєктування необхідно визначити розрахункову витрату води, необхідний напір насосів, втрати напору в трубопроводах і кількість одночасно працюючих дощувальних машин.

Використання річки Оріль як джерела зрошення потребує дотримання вимог раціонального водокористування та охорони водного середовища. Водозабір не повинен погіршувати гідрологічний режим річки, особливо в періоди низької водності. Необхідно враховувати потреби інших водокористувачів, екологічні вимоги до мінімального стоку, а також правила експлуатації водозабірних споруд. Раціональний режим водозабору є важливою умовою екологічної безпеки та стабільної роботи зрошувальної системи [1].

Зона водозабору повинна утримуватися в належному санітарному й технічному стані. Не допускається потрапляння у воду паливно-мастильних матеріалів, залишків мінеральних добрив, пестицидів, побутових і виробничих стічних вод. Під час експлуатації насосної станції необхідно забезпечити справність обладнання, герметичність трубопроводів, надійну роботу запірної арматури та своєчасне очищення захисних решіток і фільтрів. Такі заходи дозволяють зменшити ризик забруднення водного джерела та підвищити надійність роботи системи.

З екологічного погляду дощувальне зрошення із забором води з річки Оріль повинно здійснюватися за науково обґрунтованим режимом. Необхідно подавати на поле лише ту кількість води, яка відповідає потребі культур і вологості ґрунту. Надмірні поливи не тільки збільшують витрати води й електроенергії, а й можуть спричинити перезволоження ґрунтів, поверхневий стік, вимивання поживних речовин і погіршення меліоративного стану земель. Тому ефективність використання джерела зрошення значною мірою залежить від правильного розрахунку режиму поливів.

Отже, для проєктованої системи зрошення у фермерському господарстві «Алгоритм» доцільно прийняти поверхнєве водне джерело басейну річки Оріль. Річка Оріль є лівою притокою Дніпра та має важливе водогосподарське значення для прилеглих територій. Для подачі води на зрошуваний масив передбачається механічний водозабір із використанням насосної станції та закритої трубопровідної мережі. Така схема відповідає умовам роботи дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation, забезпечує необхідний напір, зменшує втрати води та створює передумови для ефективного й раціонального використання водних ресурсів. Остаточне місце водозабору та його параметри повинні бути уточнені за матеріалами топографічних вишукувань, ситуаційного плану території та даними щодо фактичного розміщення зрошуваної ділянки.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ФГ «АЛГОРИТМ»

Сільськогосподарське виробництво є основним напрямом діяльності фермерських господарств степової зони України. Його ефективність значною мірою залежить від природно-кліматичних умов, родючості ґрунтів, структури посівних площ, технічного забезпечення, рівня агротехніки та можливості регулювання водного режиму ґрунтів. Для території Дніпровського району Дніпропетровської області характерні високий агровиробничий потенціал земель, переважання чорноземних ґрунтів, але водночас — недостатнє та нестійке природне зволоження. Саме тому питання зрошення має важливе значення для підвищення стабільності та продуктивності сільськогосподарського виробництва [3], [5].

Фермерське господарство «Алгоритм» функціонує в умовах степової зони, де головними обмежувальними факторами для рослинництва є дефіцит вологи, високі літні температури, суховії та нерівномірний розподіл опадів упродовж вегетаційного періоду. За таких умов урожайність сільськогосподарських культур може істотно коливатися за роками, навіть за умови використання якісного насіння, добрив і сучасних технологій вирощування. Тому впровадження зрошення є важливим напрямом удосконалення виробничої діяльності господарства.

2.1 Загальна характеристика господарства

Фермерське господарство «Алгоритм» розташоване в Дніпровському районі Дніпропетровської області. За адміністративно-територіальним положенням господарство належить до аграрного регіону з розвиненим сільськогосподарським виробництвом. Згідно з відкритими реєстровими

даними, ФГ «Алгоритм» має організаційно-правову форму фермерського господарства, а основним видом його діяльності зазначено вирощування зернових і технічних культур. Серед інших видів діяльності вказуються розведення великої рогатої худоби, оптова торгівля зерном, насінням і кормами для тварин, а також окремі напрями переробки сільськогосподарської продукції.

Розташування господарства в межах Дніпровського району визначає його виробничу спеціалізацію. Цей район належить до територій, де традиційно розвинуте вирощування зернових, зернобобових, олійних і кормових культур. Сприятливі ґрунтові умови, наявність родючих чорноземів, достатня тривалість теплого періоду та значний аграрний досвід регіону створюють передумови для ефективного ведення рослинництва. Водночас кліматична посушливість і нестійке зволоження обмежують можливість стабільного отримання високих урожаїв без меліоративних заходів.

Основним виробничим напрямом ФГ «Алгоритм» доцільно вважати рослинництво, зокрема вирощування зернових і технічних культур. До таких культур можуть належати озима пшениця, ярий ячмінь, кукурудза на зерно, соняшник, соя та інші культури, поширені в умовах степової зони Дніпропетровської області. Вибір культур залежить від ґрунтово-кліматичних умов, попиту на продукцію, матеріально-технічного забезпечення господарства, наявності зрошення та економічної доцільності. Вирощування зернових культур має важливе значення для господарства, оскільки вони є основою товарного виробництва та забезпечують стабільний попит на ринку. Озима пшениця, ячмінь і кукурудза є традиційними культурами для Дніпропетровської області. Вони добре пристосовані до місцевих умов, але їхня продуктивність істотно залежить від запасів вологи в ґрунті. Особливо чутливою до дефіциту вологи є

кукурудза, яка потребує достатнього водозабезпечення у період інтенсивного росту, викидання волоті, цвітіння та формування зерна.

Технічні культури, зокрема соняшник, також мають велике значення у структурі сільськогосподарського виробництва регіону. Соняшник є однією з найбільш поширених культур степової зони, оскільки має відносну посухостійкість і високу економічну привабливість. Проте надмірне насичення сівозміни соняшником може призводити до виснаження ґрунту, погіршення фітосанітарного стану полів і зниження родючості. Тому при плануванні виробництва важливо дотримуватися науково обґрунтованої сівозміни та поєднувати вирощування технічних культур із зерновими, бобовими й кормовими культурами [3].

В умовах недостатнього природного зволоження важливим завданням господарства є підвищення стійкості виробництва до посух. Навіть за високої природної родючості чорноземів урожайність культур у степовій зоні значною мірою залежить від кількості та розподілу атмосферних опадів. У роки з тривалими бездошовими періодами й високими температурами повітря запаси продуктивної вологи швидко зменшуються, що призводить до пригнічення рослин, скорочення періоду активної вегетації та зменшення врожаю.

Для ФГ «Алгоритм» впровадження зрошення може стати одним із основних напрямів підвищення ефективності виробництва. Зрошення дозволяє стабілізувати водний режим ґрунту, забезпечити культури вологою у критичні фази розвитку, підвищити ефективність використання добрив, поліпшити умови росту рослин і зменшити залежність урожайності від погодних умов. Особливо актуальним є застосування сучасних способів поливу, які забезпечують раціональне використання води та мінімізують непродуктивні втрати.

Запроєктоване використання дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation відповідає потребам господарства в сучасній,

технологічній та ефективній системі зрошення. Такі машини можуть використовуватися на полях прямокутної або близької до прямокутної форми, забезпечують рівномірне зволоження значної площі та дозволяють механізувати процес поливу. Їх застосування є доцільним для господарств, які прагнуть підвищити продуктивність рослинництва та раціонально використовувати водні ресурси.

Матеріально-технічна база господарства має важливе значення для ефективного впровадження зрошення. Для експлуатації системи необхідні насосне обладнання, трубопровідна мережа, гідранти, запірна арматура, система підключення дощувальних машин, техніка для обслуговування мережі та кваліфікований персонал. Важливо, щоб система зрошення була не лише технічно правильно запроектована, а й зручною в експлуатації, енергоефективною та пристосованою до виробничих умов конкретного господарства.

Земельні ресурси господарства є основою його виробничої діяльності. Ефективність використання земель залежить від структури посівних площ, рівня родючості ґрунтів, агротехнічних заходів, забезпеченості вологою та можливості впровадження інтенсивних технологій вирощування. За наявності зрошення господарство отримує можливість більш раціонально планувати структуру посівів, вводити в сівозміну більш вологолюбні й продуктивні культури, підвищувати урожайність і стабільність виробництва.

Організація зрошення також впливає на економічну діяльність господарства. Хоча будівництво зрошувальної системи потребує значних капітальних вкладень, у перспективі воно може забезпечити збільшення валової продукції, підвищення прибутковості, зменшення ризиків, пов'язаних із посухами, і скорочення коливань урожайності за роками. Економічна ефективність зрошення значною мірою залежить від

правильного вибору культур, режиму поливу, вартості води й електроенергії, урожайності та ринкової ціни продукції.

Загалом ФГ «Алгоритм» можна охарактеризувати як сільськогосподарське підприємство рослинницького напрямку, діяльність якого пов'язана насамперед із вирощуванням зернових і технічних культур. Природно-кліматичні умови Дніпровського району створюють добрі передумови для аграрного виробництва, однак недостатнє зволоження є головним фактором, що обмежує стабільність урожайності. Тому розробка проєкту зрошення дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation є доцільним і практично важливим заходом для підвищення ефективності господарської діяльності.

Отже, загальна характеристика ФГ «Алгоритм» свідчить про його належність до аграрних підприємств, для яких питання раціонального використання земельних і водних ресурсів має особливе значення. Основна спеціалізація господарства на вирощуванні зернових і технічних культур, розташування в зоні нестійкого зволоження та потреба у стабілізації врожайності обумовлюють необхідність упровадження сучасної системи зрошення. Застосування дощувальних машин фронтальної дії дозволить підвищити продуктивність земель, зменшити вплив посушливих періодів і створити умови для більш ефективного ведення сільськогосподарського виробництва.

2.2 Структура посівних площ і напрям виробництва

Структура посівних площ є важливим показником, який характеризує виробничий напрям сільськогосподарського підприємства, рівень його спеціалізації, ефективність використання земельних ресурсів і можливість упровадження меліоративних заходів. Вона відображає співвідношення між окремими групами культур: зерновими, зернобобовими, технічними,

кормовими та іншими сільськогосподарськими культурами. Для фермерського господарства «Алгоритм», розташованого в Дніпровському районі Дніпропетровської області, структура посівних площ формується з урахуванням природно-кліматичних умов степової зони, ґрунтового покриття, виробничої спеціалізації господарства, ринкового попиту на продукцію та впровадження зрошення [3], [5], [9].

Основним напрямом виробництва ФГ «Алгоритм» є рослинництво, зокрема вирощування зернових, зернобобових, технічних і кормових культур. Така спеціалізація відповідає умовам Дніпропетровської області, де значні площі сільськогосподарських угідь зайняті озимою пшеницею, ярим ячменем, кукурудзою на зерно, соняшником, соєю та кормовими культурами. Водночас урожайність цих культур істотно залежить від кількості продуктивної вологи в ґрунті, особливо в періоди інтенсивного росту, цвітіння, формування зерна або насіння [3], [10].

У структурі посівних площ господарства провідне місце займають зернові культури. Вони є основою товарного виробництва, мають стабільний попит на внутрішньому й зовнішньому ринках, а також добре вписуються в сівозміни степової зони. До зернових культур, які передбачено вирощувати на зрошуваній ділянці ФГ «Алгоритм», належать озима пшениця, ярий ячмінь і кукурудза на зерно. Озима пшениця є однією з основних продовольчих культур, однак її врожайність залежить від вологозабезпечення восени, під час весняного відновлення вегетації та у фазах виходу в трубку, колосіння й наливу зерна [3], [11].

Ярий ячмінь є культурою з порівняно коротким вегетаційним періодом, проте в посушливі роки він також відчуває дефіцит вологи. Найбільше значення має забезпечення рослин вологою в період кушіння, виходу в трубку та формування зерна. За нестачі вологи в ці фази скорочується продуктивна кущистість, зменшується кількість зерен у колосі та маса

зерна. За умов зрошення ярий ячмінь формує більш стабільну врожайність і краще використовує потенціал сорту та внесених добрив [3], [12].

Кукурудза на зерно є високопродуктивною культурою, яка добре реагує на зрошення. Найбільша потреба у воді спостерігається в період інтенсивного росту, викидання волоті, цвітіння та формування зерна. У разі нестачі вологи в ці фази різко знижується запилення, погіршується формування качанів і зменшується врожайність. Тому включення кукурудзи до зрошуваної сівозміни є обґрунтованим, оскільки за регульованого водного режиму вона забезпечує високий рівень продуктивності [3], [13].

Важливе місце у структурі посівних площ господарства займають технічні культури, насамперед соняшник. Соняшник є традиційною культурою для Дніпропетровської області та має високу економічну привабливість. Він краще переносить короткочасні посушливі періоди порівняно з деякими іншими культурами, однак для формування високої врожайності також потребує достатнього запасу вологи в ґрунті. Найбільш критичними для соняшнику є періоди утворення кошика, цвітіння та наливу насіння [10], [14].

Разом із тим структура посівних площ не повинна бути надмірно насичена соняшником. Часте повернення цієї культури на одне й те саме поле призводить до виснаження ґрунту, поширення хвороб і шкідників, погіршення фітосанітарного стану та зниження продуктивності сівозміни. Тому в запроєктованій структурі посівів соняшник поєднується із зерновими, зернобобовими й кормовими культурами, що забезпечує раціональне чергування культур і підтримання родючості ґрунтів [9], [14]. Зернобобові культури, зокрема соя, мають важливе агрономічне й економічне значення. Вони сприяють збагаченню ґрунту біологічним азотом, поліпшенню його структури та зменшенню потреби в мінеральних азотних добривах для наступних культур. За умов зрошення соя є

високоєфективною культурою, оскільки позитивно реагує на достатнє вологозабезпечення, особливо у фазах бутонізації, цвітіння та наливу бобів [3], [15].

Кормові культури у структурі посівних площ використовуються для підвищення агроєкологічної стійкості сівозміни, поліпшення родючості ґрунтів і створення кормової бази. До цієї групи належать люцерна та кукурудза на силос. За умов зрошення кормові культури формують значно вищу врожайність зеленої маси й сіна, ніж у богарних умовах. Особливо ефективним є вирощування люцерни на зрошенні, оскільки вона забезпечує кілька укосів за сезон, збагачує ґрунт органічною речовиною та поліпшує його структуру [3], [12].

Для ФГ «Алгоритм» запроєктовано зерново-технічний напрям виробництва з включенням зернобобових і кормових культур. Така структура забезпечує економічну ефективність виробництва, підтримання родючості ґрунтів, зменшення фітосанітарного навантаження та раціональне використання зрошувальної води. На зрошуваних землях розміщуються культури, які найбільш позитивно реагують на додаткове зволоження і забезпечують високий економічний ефект від поливу.

Зрошення змінює підхід до формування структури посівних площ. Якщо в умовах богарного землеробства вибір культур значною мірою обмежується їхньою посухостійкістю, то за наявності зрошення господарство отримує можливість вирощувати більш продуктивні, але водовимогливі культури. Це дозволяє підвищити врожайність кукурудзи, сої, кормових культур і багаторічних трав, для яких дефіцит вологи є головним обмежувальним фактором [2], [3], [7].

При проектуванні системи зрошення враховується не лише загальна площа сільськогосподарських угідь, а й структура культур, які вирощуються на зрошуваній ділянці. Кожна культура має власні строки вегетації, критичні періоди водоспоживання, глибину активного шару

кореневої системи та потребу у воді. Тому структура посівних площ безпосередньо впливає на розрахунок режиму зрошення, графік поливів, розрахункову витрату води, навантаження на насосну станцію та роботу дощувальних машин Variant Irrigation [6], [7], [16].

Для роботи дощувальних машин фронтальної дії найбільш зручними є поля правильної або наближеної до прямокутної форми. Тому при організації структури посівних площ на зрошуваному масиві враховуються не тільки агрономічні вимоги сівозміни, а й технічні вимоги до роботи машини. Розміщення культур забезпечує можливість прямолінійного руху дощувальної машини, рівномірного поливу всієї площі, зручного підключення до гідрантів і мінімальних простоїв під час експлуатації.

Структура посівних площ на зрошуваній ділянці ФГ «Алгоритм» прийнята з урахуванням зерново-технічного напрямку виробництва, вимог сівозміни та ефективності використання дощувального зрошення. Найбільшу частку займають зернові культури, які забезпечують основу товарного виробництва. Частина площі відведена під технічні, зернобобові та кормові культури, що дозволяє підвищити економічну віддачу зрошення та підтримувати родючість ґрунтів.

Таблиця 2.1 — Структура посівних площ на зрошуваній ділянці ФГ «Алгоритм»

Група культур	Культура	Частка в структурі посівів, %	Господарське значення
Зернові культури	Озима пшениця	25	Продовольче зерно, основна товарна культура
Зернові культури	Кукурудза на зерно	20	Високопродуктивна культура, добре реагує на зрошення

Зернові культури	Ярий ячмінь	10	Фуражне та продовольче зерно, рання культура
Зернобобові культури	Соя	15	Білкова продукція, поліпшення сівозміни, збагачення ґрунту азотом
Технічні культури	Соняшник	20	Економічно цінна олійна культура
Кормові культури	Люцерна / кукурудза на силос	10	Формування кормової бази, поліпшення родючості ґрунту
Разом		100	

Прийнята структура посівних площ відповідає виробничому напрямку ФГ «Алгоритм» і природно-кліматичним умовам Дніпровського району. Вона забезпечує поєднання товарних культур із культурами, які поліпшують агрофізичний і агрохімічний стан ґрунту. Зернові культури формують основу валової продукції, технічні культури забезпечують високу економічну віддачу, зернобобові сприяють підвищенню родючості ґрунтів, а кормові культури підвищують стійкість сівозміни.

Напрямок виробництва ФГ «Алгоритм» визначається як зерново-технічний із включенням зернобобових і кормових культур. Такий напрям відповідає природно-кліматичним умовам Дніпровського району, ринковим потребам і потенціалу чорноземних ґрунтів. Водночас для підвищення ефективності виробництва необхідним є впровадження зрошення, оскільки саме волога є головним фактором, що обмежує реалізацію врожайного потенціалу культур у степовій зоні [2], [3], [10].

Застосування дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation дозволяє господарству ефективно використовувати площі, зайняті культурами з високою потребою у воді. Насамперед це стосується кукурудзи, сої, люцерни та інших кормових культур. За умов правильного

режиму зрошення ці культури формують значно вищу врожайність порівняно з богарними умовами, що позитивно впливає на економічні показники діяльності господарства [6], [16].

Отже, структура посівних площ ФГ «Алгоритм» сформована з урахуванням зерново-технічного напрямку виробництва, природно-кліматичних умов степової зони, вимог сівозміни та можливостей зрошення. Поєднання зернових, технічних, зернобобових і кормових культур забезпечує економічну ефективність, підтримання родючості ґрунтів і раціональне використання зрошувальної води. Упровадження дощувального зрошення машинами фронтальної дії Variant Irrigation створює передумови для підвищення врожайності, стабілізації виробництва та більш ефективного використання земельних ресурсів господарства.

2.3 Обґрунтування необхідності зрошення

Необхідність зрошення сільськогосподарських угідь ФГ «Алгоритм» обумовлена природно-кліматичними умовами Дніпровського району Дніпропетровської області, який належить до степової зони України. Для цієї території характерні недостатнє та нестійке зволоження, високі літні температури, значна випаровуваність, часті бездощові періоди та суховійні явища. У таких умовах природні запаси вологи в ґрунті не завжди забезпечують потребу сільськогосподарських культур протягом усього вегетаційного періоду, особливо у критичні фази росту й формування врожаю [2], [3], [4].

Основним обмежувальним фактором урожайності в умовах степової зони є дефіцит продуктивної вологи. Навіть за високої природної родючості чорноземних ґрунтів нестача води в кореневмісному шарі призводить до пригнічення росту рослин, зменшення площі листової поверхні, порушення процесів фотосинтезу, погіршення формування генеративних

органів і зниження врожайності. Тому регулювання водного режиму ґрунту є одним із найважливіших заходів інтенсифікації землеробства [3], [17].

У районі проєктування атмосферні опади протягом року розподіляються нерівномірно. Частина опадів припадає на холодний період, а влітку, коли потреба культур у воді є найбільшою, часто спостерігається нестача вологи. Літні опади нерідко мають зливовий характер, через що частина води втрачається на поверхневий стік або швидко випаровування. Унаслідок цього фактичне використання атмосферних опадів рослинами є меншим, ніж їх загальна кількість за вегетаційний період [4], [5].

Для встановлення необхідності зрошення доцільно порівняти два основні елементи водного балансу території: прибуткову частину, тобто атмосферні опади, та витратну частину, тобто випаровуваність. Якщо випаровуваність за вегетаційний період перевищує кількість опадів, формується дефіцит зволоження, який необхідно компенсувати за рахунок зрошення. Такий підхід широко використовується при меліоративному обґрунтуванні необхідності поливу сільськогосподарських культур [1], [7].

Випаровуваність за місяць визначається за формулою М. М. Іванова:

$$E_m = 0,0018 \cdot (25 + t)^2 \cdot (100 - a),$$

де E_m — місячна випаровуваність, мм;

t — середня місячна температура повітря, °C;

a — середня місячна відносна вологість повітря, %.

Для характеристики ступеня посушливості території визначається індекс посушливості:

$$K_c = \Sigma E_m / \Sigma P,$$

де ΣE_m — сума випаровуваності за вегетаційний період, мм;

ΣP — сума атмосферних опадів за той самий період, мм.

Якщо значення індексу посушливості перевищує одиницю, це свідчить про те, що витрати вологи на випаровування перевищують її надходження з атмосферними опадами. За таких умов природне зволоження є недостатнім, а для забезпечення стабільного росту й розвитку сільськогосподарських культур необхідне додаткове зволоження ґрунту шляхом зрошення [3], [7], [17].

Для умов Дніпровського району Дніпропетровської області розрахунок індексу посушливості за вегетаційний період наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Розрахунок індексу посушливості за вегетаційний період

Показник	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	За вегетацію
Середня температура повітря, °С	9,2	15,8	19,8	22,1	21,3	16,0	—
Відносна вологість повітря, %	67	62	60	58	56	63	—
Випаровуваність, мм	76	121	151	179	174	108	809
Атмосферні опади, мм	38	48	55	50	42	39	272
Індекс посушливості	2,00	2,52	2,75	3,58	4,14	2,77	2,97

За результатами розрахунку, сума випаровуваності за вегетаційний період становить **809 мм**, тоді як сума атмосферних опадів — **272 мм**. Індекс посушливості за вегетаційний період дорівнює:

$$K_c = 809 / 272 = 2,97.$$

Отримане значення індексу посушливості значно перевищує одиницю, що свідчить про виражений дефіцит природного зволоження. Це означає, що за рахунок атмосферних опадів потреба сільськогосподарських культур у воді не покривається. Особливо напружені умови зволоження

спостерігаються у липні та серпні, коли індекс посушливості становить відповідно **3,58** і **4,14**. Саме в ці місяці випаровуваність є найбільшою, а волога в ґрунті швидко витрачається на випаровування і транспірацію рослин.

Найбільша потреба в додатковому зволоженні виникає в періоди інтенсивного росту й формування врожаю сільськогосподарських культур. Для озимої пшениці критичними щодо вологозабезпечення є фази виходу в трубку, колосіння та наливу зерна. Для кукурудзи найбільше значення має забезпечення вологою в період викидання волоті, цвітіння та формування зерна. Для сої важливими є фази бутонізації, цвітіння та наливу бобів. Для соняшнику критичними є періоди утворення кошика, цвітіння та наливу насіння. Саме в ці фази нестача води найбільш відчутно знижує врожайність [3], [11], [13], [15].

Зрошення дає змогу створити в кореневмісному шарі ґрунту оптимальний водний режим, необхідний для нормального росту й розвитку рослин. Підтримання вологості ґрунту на належному рівні забезпечує краще засвоєння поживних речовин, активізацію фізіологічних процесів, підвищення ефективності мінеральних добрив і формування більш стабільного врожаю. У посушливих умовах зрошення є одним із головних факторів реалізації продуктивного потенціалу сільськогосподарських культур [2], [3], [17].

Без зрошення врожайність культур у ФГ «Алгоритм» значною мірою залежить від погодних умов конкретного року. У роки з достатньою кількістю опадів господарство може отримувати задовільні врожаї, але в посушливі роки продуктивність культур різко знижується. Така нестабільність ускладнює планування виробництва, знижує економічну надійність господарства та збільшує ризики, пов'язані з вирощуванням культур. Зрошення дозволяє зменшити ці ризики й забезпечити більш прогнозований рівень урожайності.

Особливе значення зрошення має для культур, які включені до структури посівних площ зрошуваної ділянки ФГ «Алгоритм». Кукурудза, соя та кормові культури добре реагують на додаткове зволоження і здатні забезпечувати високий приріст урожайності за умови правильно організованого режиму поливів. Озима пшениця та ярий ячмінь також позитивно реагують на зрошення, особливо в періоди дефіциту вологи. Соняшник, хоча й відноситься до більш посухостійких культур, за раціонального поливу краще формує кошик і насіння, що позитивно впливає на врожайність та якість продукції [3], [10], [14].

Для умов ФГ «Алгоритм» найбільш обґрунтованим способом зрошення є дощування. Цей спосіб забезпечує рівномірний розподіл води по поверхні поля, наближений до природного дощу, дозволяє регулювати поливні норми, механізувати процес поливу та застосовувати його для різних сільськогосподарських культур. Дощування є ефективним для чорноземних ґрунтів степової зони за умови правильного вибору інтенсивності дощу, яка не повинна перевищувати водопроникність ґрунту [5], [7], [18].

Застосування дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation відповідає виробничим умовам господарства та проєктній структурі посівних площ. Фронтальні машини забезпечують поступальний рух по полю та рівномірне зрошення прямокутних або наближених до прямокутних ділянок. Це дає можливість ефективно використовувати площу поля, зменшувати кількість незрошуваних ділянок і забезпечувати стабільну якість поливу. Використання таких машин є доцільним для зрошення зернових, технічних, зернобобових і кормових культур [6], [16].

Необхідність зрошення також пов'язана з економічними умовами виробництва. За наявності зрошення господарство отримує можливість підвищити врожайність, збільшити валовий збір продукції, ефективніше використовувати добрива, насіння, засоби захисту рослин і

сільськогосподарську техніку. Зрошення дає змогу краще планувати виробничі результати, зменшити залежність від несприятливих погодних умов і підвищити економічну стійкість підприємства [2], [7], [19].

Водночас ефективність зрошення залежить від раціонального використання водних ресурсів. Поливи повинні проводитися відповідно до потреб культур, запасів продуктивної вологи в ґрунті та погодних умов. Надмірне зрошення є недоцільним, оскільки воно призводить до перевитрат води й електроенергії, може спричинити перезволоження ґрунтів, поверхневий стік, вимивання поживних речовин і погіршення меліоративного стану земель. Тому проєктована система зрошення повинна забезпечувати не просто подачу води, а саме науково обґрунтоване регулювання водного режиму ґрунту [1], [7], [17].

З екологічної точки зору зрошення повинно бути спрямоване на збереження родючості ґрунтів і раціональне використання водних ресурсів. При правильній експлуатації дощувальної системи зменшується небезпека ерозії, запобігається надмірному зволоженню, забезпечується рівномірне надходження води в активний шар ґрунту. Закрита трубопровідна мережа, передбачена в проєкті, дозволяє зменшити втрати води під час транспортування, підвищити коефіцієнт корисної дії системи та забезпечити більш ефективну роботу дощувальних машин [1], [6], [7].

Отже, необхідність зрошення у фермерському господарстві «Алгоритм» обґрунтовується природно-кліматичними, агрономічними та економічними чинниками. Розрахунок індексу посушливості показав, що випаровуваність за вегетаційний період майже втричі перевищує кількість атмосферних опадів, а значення індексу посушливості становить **2,97**. Це свідчить про стійкий дефіцит природного зволоження та необхідність додаткової подачі води на поля. Упровадження зрошення дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation дозволить забезпечити оптимальний водний режим ґрунту, підвищити врожайність

сільськогосподарських культур, стабілізувати виробництво та підвищити ефективність використання земельних і водних ресурсів господарства.

2.4 Особливості вирощування сільськогосподарських культур в умовах зрошення

Вирощування сільськогосподарських культур в умовах зрошення має низку особливостей, пов'язаних із регулюванням водного режиму ґрунту, підвищенням ефективності використання добрив, посиленням ростових процесів, зміною строків виконання окремих агротехнічних заходів і необхідністю контролю за меліоративним станом земель. На відміну від богарного землеробства, де врожайність значною мірою залежить від кількості та розподілу атмосферних опадів, зрошуване землеробство дає можливість цілеспрямовано забезпечувати рослини вологою у найбільш відповідальні періоди їх росту й розвитку [2], [3], [17].

В умовах ФГ «Алгоритм» проєктується вирощування сільськогосподарських культур у степовій зоні Дніпропетровської області, де головним обмежувальним фактором урожайності є нестача продуктивної вологи. Як було встановлено в попередньому підрозділі, випаровуваність за вегетаційний період значно перевищує кількість атмосферних опадів, що свідчить про необхідність додаткового зволоження ґрунту. За таких умов зрошення є не лише способом підвищення врожайності, а й важливим фактором стабілізації сільськогосподарського виробництва [4], [7].

Основною метою вирощування культур на зрошенні є підтримання вологості ґрунту в оптимальних межах протягом вегетаційного періоду. При цьому поливи повинні проводитися не довільно, а відповідно до біологічних особливостей кожної культури, фази її розвитку, глибини розміщення кореневої системи, запасів продуктивної вологи в ґрунті та погодних умов. Особливо важливо забезпечувати рослини вологою у

критичні періоди водоспоживання, коли навіть короткочасна нестача води може призвести до значного зниження врожаю [3], [11], [13].

Водночас зрошення потребує дотримання раціональних поливних норм. Надмірна подача води є небажаною, оскільки вона може спричинити перезволоження ґрунту, погіршення його повітряного режиму, ущільнення, вимивання поживних речовин і збільшення витрат на електроенергію. Тому при використанні дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation необхідно забезпечити рівномірне зволоження активного шару ґрунту без утворення поверхневого стоку, особливо на суглинистих чорноземах, характерних для території проєктування [5], [6], [7].

У структурі посівних площ ФГ «Алгоритм» передбачено вирощування озимої пшениці, ярого ячменю, кукурудзи на зерно, сої, соняшнику, люцерни та кукурудзи на силос. Таке поєднання культур відповідає зерново-технічному напрямку виробництва з включенням зернобобових і кормових культур. Воно дозволяє поєднати економічно цінні товарні культури з культурами, які поліпшують родючість ґрунту, збагачують його органічною речовиною та підвищують стійкість сівозміни [9], [10], [20].

Озима пшениця є однією з основних продовольчих культур, яка займає важливе місце в структурі посівних площ господарства. В умовах зрошення вона здатна формувати стабільні й високі врожаї, однак ефективність її вирощування значною мірою залежить від правильного поєднання осіннього та весняно-літнього водозабезпечення. Для озимої пшениці важливим є достатнє зволоження ґрунту під час сівби, оскільки від цього залежить отримання дружних сходів, розвиток кореневої системи та кущіння рослин восени [3], [11].

За посушливої осені під озиму пшеницю проводять передпосівний або вологозарядковий полив, який забезпечує зволоження посівного шару ґрунту та створює умови для рівномірного проростання насіння. У весняно-

літній період найбільше значення мають поливи у фазах виходу в трубку, колосіння, цвітіння та наливу зерна. Саме в цей період нестача вологи призводить до зменшення кількості продуктивних стебел, погіршення озерненості колоса та зниження маси зерна. Тому в умовах зрошення необхідно підтримувати оптимальну вологість ґрунту в активному шарі кореневої системи [3], [17].

При вирощуванні озимої пшениці на зрошенні важливо також правильно поєднувати поливи з внесенням добрив. Достатнє зволоження підвищує доступність поживних речовин і сприяє кращому засвоєнню азоту, фосфору та калію. Разом із тим надмірне зволоження може призвести до вилягання посівів, особливо за високих норм азотних добрив. Тому поливний режим озимої пшениці має бути спрямований на забезпечення рослин вологою без перезволоження ґрунту.

Ярий ячмінь є культурою з коротким вегетаційним періодом, тому для нього дуже важливим є своєчасне забезпечення вологою на початкових етапах росту. Найбільш відповідальними періодами є кущіння, вихід у трубку та формування зерна. Нестача вологи в ці фази призводить до зменшення продуктивної кущистості, скорочення довжини колоса, зменшення кількості зерен і погіршення їх виповненості [3], [12].

В умовах зрошення ярий ячмінь краще використовує поживні речовини ґрунту й добрив, формує більш вирівняні посіви та стабільнішу врожайність. Поливи повинні проводитися помірними нормами, оскільки надмірне зволоження може спричинити вилягання рослин і погіршення якості зерна. Найбільший ефект дають вегетаційні поливи у період активного росту, коли формується продуктивний стеблостій і закладаються основні елементи врожаю.

Кукурудза на зерно належить до культур, які особливо добре реагують на зрошення. Вона має високий потенціал продуктивності, але для його реалізації потребує достатнього вологозабезпечення протягом

тривалого періоду вегетації. Найбільш критичним для кукурудзи є період від інтенсивного росту стебла до цвітіння, викидання волоті, запилення та початку формування зерна. Нестача вологи в цей час призводить до порушення процесу запилення, через що зменшується кількість зерен у качані та різко знижується врожайність [3], [13].

У період формування зерна кукурудза також потребує достатньої кількості вологи, оскільки від цього залежить налив зерна та його маса. При вирощуванні кукурудзи на зрошенні необхідно підтримувати оптимальну вологість ґрунту в шарі активного розміщення кореневої системи. Поливи повинні бути узгоджені з фазами розвитку культури та погодними умовами. У спекотні й сухівійні періоди інтервали між поливами скорочуються, а режим роботи дощувальних машин коригується з урахуванням втрат води на випаровування.

Кукурудза ефективно використовує зрошувальну воду за умови достатнього мінерального живлення. Тому при її вирощуванні на зрошенні важливим є внесення оптимальних норм добрив, особливо азотних. Достатнє зволоження сприяє кращому засвоєнню поживних речовин, але надмірні поливи можуть спричинити їх вимивання за межі кореневмісного шару. У зв'язку з цим режим зрошення має бути тісно пов'язаний із системою удобрення [17], [20].

Соя є цінною зернобобовою культурою, яка має важливе значення як джерело рослинного білка та як попередник у сівозміні. Вона здатна збагачувати ґрунт біологічним азотом завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями, поліпшує фітосанітарний стан сівозміни та підвищує родючість ґрунту. Водночас соя є досить вимогливою до вологозабезпечення, особливо в періоди бутонізації, цвітіння, формування та наливу бобів [15], [21].

В умовах нестійкого зволоження дефіцит вологи під час цвітіння сої може призводити до опадання квіток і бобів, зменшення кількості насінин і

зниження врожайності. Тому за умов зрошення необхідно підтримувати оптимальну вологість ґрунту саме в період генеративного розвитку культури. Поливи сої повинні бути рівномірними, без різких коливань вологості ґрунту, оскільки як пересушування, так і перезволоження негативно впливають на розвиток рослин і функціонування бульбочкових бактерій.

Зрошення сої сприяє підвищенню врожайності, поліпшенню якості насіння та збільшенню вмісту білка. Водночас необхідно уникати надмірного зволоження, яке може сприяти розвитку грибних хвороб, погіршенню аерації ґрунту та пригніченню азотфіксації. Для сої важливим є також раціональне розміщення в сівозміні, оскільки вона є добрим попередником для озимих зернових культур.

Соняшник є однією з найбільш поширених технічних культур у степовій зоні України. Він характеризується відносною посухостійкістю завдяки добре розвиненій кореневій системі, але для формування високого врожаю також потребує достатнього забезпечення вологою. Найбільш критичними періодами для соняшнику є утворення кошика, цвітіння та налив насіння. Нестача вологи в ці фази призводить до зменшення діаметра кошика, кількості виповненого насіння та вмісту олії [10], [14].

В умовах зрошення соняшник здатний формувати вищу врожайність, однак ця культура потребує особливо обережного підходу до поливного режиму. Надмірне зволоження може сприяти розвитку хвороб, надмірному росту вегетативної маси та погіршенню умов досягання. Тому поливи соняшнику повинні проводитися в основні критичні періоди водоспоживання, без створення умов перезволоження. Важливим є також дотримання правильної сівозміни, оскільки часте повернення соняшнику на те саме поле виснажує ґрунт і підвищує ризик поширення хвороб.

При вирощуванні соняшнику на зрошенні необхідно контролювати не лише вологість ґрунту, а й фітосанітарний стан посівів. Вища вологість у

рослинному покриві може створювати сприятливі умови для розвитку окремих хвороб, тому система захисту рослин повинна бути своєчасною та обґрунтованою. Правильне поєднання зрошення, удобрення, сівозміни та захисту рослин забезпечує підвищення врожайності й економічної ефективності вирощування соняшнику.

Люцерна є цінною багаторічною кормовою культурою, яка добре реагує на зрошення. Вона має глибоку кореневу систему, здатна використовувати вологу з глибших шарів ґрунту, але для формування високої врожайності зеленої маси й сіна потребує регулярного зволоження. За умов зрошення люцерна може давати кілька укосів за сезон, що робить її важливою культурою для створення стабільної кормової бази [3], [12].

Особливістю вирощування люцерни на зрошенні є необхідність проведення поливів після кожного укосу для забезпечення швидкого відростання рослин. Волога є важливою умовою формування нових пагонів, наростання листкової маси та накопичення поживних речовин. Найбільший ефект дають поливи на початку відростання та у фазі бутонізації. Водночас люцерна не переносить тривалого перезволоження, тому поливи повинні забезпечувати оптимальну, а не надлишкову вологість ґрунту.

Люцерна також має важливе агротехнічне значення. Вона збагачує ґрунт органічною речовиною, сприяє накопиченню біологічного азоту, покращує структуру ґрунту та підвищує його родючість. Включення люцерни до структури посівів зрошуваної ділянки є доцільним не лише з кормової, а й з агроеліоративної точки зору.

Кукурудза на силос використовується як високопродуктивна кормова культура. В умовах зрошення вона формує значну кількість зеленої маси, яка використовується для заготівлі силосу. Найбільша потреба у воді спостерігається в період інтенсивного наростання вегетативної маси, викидання волоті та формування качанів. При нестачі вологи зменшується

висота рослин, площа листкової поверхні, маса стебел і качанів, що негативно впливає на загальний вихід кормової маси [13], [20].

Поливи кукурудзи на силос повинні забезпечувати рівномірний ріст рослин і формування високої врожайності зеленої маси. Особливо важливим є підтримання вологості ґрунту в період активного росту. За умов достатнього зволоження кукурудза ефективно використовує мінеральні добрива та формує якісну силосну масу з високим вмістом поживних речовин.

Застосування дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation створює сприятливі умови для вирощування зазначених культур. Такі машини забезпечують рівномірне зволоження площі, можливість регулювання поливної норми та високу продуктивність поливу. Завдяки поступальному руху фронтальної машини вода розподіляється рівномірно по прямокутній ділянці, що особливо важливо для культур із високою потребою у воді та для забезпечення однакового розвитку рослин по всьому полю [6], [16].

При використанні дощування необхідно враховувати погодні умови під час поливу. За високої температури повітря, низької відносної вологості та підвищеної швидкості вітру збільшуються втрати води на випаровування та знесення крапель. Тому поливи доцільно проводити в ранкові, вечірні або нічні години, коли метеорологічні умови є більш сприятливими для рівномірного розподілу води. Це підвищує коефіцієнт використання зрошувальної води та зменшує непродуктивні втрати [7], [18].

В умовах зрошення підвищується роль системи удобрення. Достатня вологість ґрунту активізує мікробіологічні процеси, покращує розчинення і засвоєння поживних речовин, підвищує ефективність мінеральних та органічних добрив. Проте за надмірних поливів можливе вимивання нітратного азоту за межі кореневмісного шару. Тому система удобрення

повинна бути узгоджена з режимом зрошення, біологічними особливостями культур і запланованою врожайністю [17], [20].

Зрошення також впливає на фітосанітарний стан посівів. За достатнього зволоження культури краще ростуть і мають вищу конкурентну здатність щодо бур'янів, однак підвищена вологість може сприяти розвитку окремих хвороб. Тому при вирощуванні культур на зрошенні необхідно дотримуватися сівозміни, своєчасно проводити захист рослин, контролювати густоту посівів і не допускати перезволоження рослинного покриву.

Особливе значення має підтримання родючості ґрунтів. Зрошення саме по собі не забезпечує високої врожайності, якщо не поєднується з правильною агротехнікою. Необхідно дотримуватися науково обґрунтованої сівозміни, застосовувати раціональний обробіток ґрунту, підтримувати його структуру, запобігати ущільненню, ерозії та вторинному засоленню. Для чорноземних ґрунтів Дніпровського району це особливо важливо, оскільки їхня природна родючість є основою ефективного сільськогосподарського виробництва [5], [9].

Отже, вирощування сільськогосподарських культур в умовах зрошення у ФГ «Алгоритм» має бути спрямоване на раціональне використання водних і земельних ресурсів, підтримання оптимального водного режиму ґрунту та підвищення продуктивності культур. Озима пшениця, ярий ячмінь, кукурудза на зерно, соя, соняшник, люцерна та кукурудза на силос по-різному реагують на зрошення, однак для всіх культур важливим є забезпечення вологою у критичні періоди розвитку. Використання дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation дозволяє забезпечити рівномірний полив, підвищити ефективність використання води, стабілізувати врожайність і створити умови для інтенсивного ведення сільськогосподарського виробництва.

3. РЕЖИМ ЗРОШЕННЯ І ТЕХНІКА ПОЛИВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Режим зрошення є одним із головних елементів проєктування зрошувальної системи. Він визначає строки, кількість і норми поливів сільськогосподарських культур, а також загальну потребу зрошуваного масиву у воді протягом вегетаційного періоду. Правильно встановлений режим зрошення забезпечує підтримання оптимальної вологості ґрунту в активному шарі кореневої системи, створює сприятливі умови для росту й розвитку рослин, підвищує ефективність використання добрив і дозволяє отримувати стабільні врожаї в умовах недостатнього природного зволоження [3], [17], [22].

Для умов фермерського господарства «Алгоритм» режим зрошення має особливо важливе значення, оскільки територія господарства розташована в степовій зоні Дніпропетровської області. Як було встановлено в попередніх розділах, для району проєктування характерні високі літні температури, значна випаровуваність, нерівномірний розподіл атмосферних опадів, часті посушливі періоди та дефіцит вологи в ґрунті. Тому основним завданням проєктованої системи зрошення є компенсація нестачі природного зволоження за рахунок своєчасного проведення поливів.

У цьому розділі визначаються основні параметри режиму зрошення для сільськогосподарських культур, які входять до структури посівних площ ФГ «Алгоритм»: озимої пшениці, ярого ячменю, кукурудзи на зерно, сої, соняшнику, люцерни та кукурудзи на силос. Також обґрунтовується техніка поливу з використанням дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation, які забезпечують рівномірне зволоження прямокутних польових ділянок і відповідають умовам проєктованого зрошуваного масиву [6], [16].

3.1 Вибір розрахункового року заданої забезпеченості

Режим зрошення сільськогосподарських культур залежить від кліматичних умов конкретного року, кількості атмосферних опадів, температури повітря, випаровуваності, запасів продуктивної вологи в ґрунті та біологічних особливостей культур. У вологі роки потреба в поливах зменшується, у середні за зволоженням роки вона має помірне значення, а в посушливі роки потреба у зрошувальній воді різко зростає. Тому при проєктуванні зрошувальних систем не можна орієнтуватися лише на середні багаторічні показники, оскільки вони не забезпечують достатньої надійності роботи системи в посушливі періоди [1], [7], [22].

Для забезпечення стабільної роботи зрошувальної системи режим зрошення розраховується на рік заданої забезпеченості. Забезпеченість показує, з якою ймовірністю певні гідрометеорологічні умови можуть бути забезпечені або перевищені в багаторічному ряду спостережень. У проєктуванні зрошення найчастіше приймають розрахунковий посушливий рік 75 % забезпеченості. Це означає, що система повинна забезпечити потребу культур у воді не тільки в середній за зволоженням рік, а й у достатньо посушливих умовах, які повторюються з високою ймовірністю [1], [7].

Вибір розрахункового року заданої забезпеченості виконується на основі багаторічних метеорологічних даних. Для цього аналізуються показники атмосферних опадів, температури повітря, відносної вологості, випаровуваності та дефіциту водного балансу за вегетаційний період. Найбільш важливим показником для зрошення є не лише сума опадів, а співвідношення між надходженням вологи з опадами та її витратами на випаровування і транспірацію рослин.

Для оцінки умов зволоження використовується дефіцит водного балансу за вегетаційний період:

$$D = \Sigma E_m - \Sigma P,$$

де **D** — дефіцит водного балансу за вегетаційний період, мм;

ΣE_m — сума випаровуваності за вегетаційний період, мм;

ΣP — сума атмосферних опадів за той самий період, мм.

Чим більшим є значення дефіциту водного балансу, тим посушливішим є рік і тим більшою є потреба сільськогосподарських культур у зрошенні. Для району проєктування у попередньому підрозділі було визначено, що за вегетаційний період сума випаровуваності становить **809 мм**, а сума атмосферних опадів — **272 мм**. Тоді дефіцит водного балансу становить:

$$D = 809 - 272 = 537 \text{ мм.}$$

Отримане значення свідчить про значний дефіцит природного зволоження протягом вегетаційного періоду. Це підтверджує необхідність проєктування системи зрошення, яка повинна компенсувати нестачу вологи в кореневмісному шарі ґрунту.

Для характеристики ступеня посушливості використовується також індекс посушливості:

$$K_c = \Sigma E_m / \Sigma P,$$

де **K_c** — індекс посушливості;

ΣE_m — випаровуваність за вегетаційний період, мм;

ΣP — атмосферні опади за вегетаційний період, мм.

Для умов району проєктування:

$$K_c = 809 / 272 = 2,97.$$

Значення індексу посушливості **$K_c = 2,97$** показує, що випаровуваність майже втричі перевищує кількість атмосферних опадів. За таких умов природне зволоження не забезпечує потреби сільськогосподарських культур у воді. Це є підставою для вибору розрахункового посушливого року заданої забезпеченості та подальшого визначення режиму зрошення [3], [17], [22].

Для вибору розрахункового року багаторічний ряд спостережень за показниками зволоження впорядковують у порядку зменшення або збільшення водності. Кожному року надається порядковий номер, після чого визначається його забезпеченість за формулою:

$$P = m / (n + 1) \cdot 100,$$

де **P** — забезпеченість року, %;

m — порядковий номер року в ранжованому ряду;

n — загальна кількість років спостережень.

У практиці проєктування зрошення розрахунковим приймається рік, забезпеченість якого найближча до заданої. Для систем зрошення сільськогосподарських культур приймається розрахунковий посушливий рік **75 % забезпеченості**. Такий підхід дозволяє забезпечити надійну роботу системи в умовах, коли природне зволоження є нижчим за середнє, але не відповідає екстремально посушливому року [1], [7].

За відсутності повного багаторічного ряду метеорологічних спостережень у межах конкретного господарства для дипломного проєктування використовується типовий розрахунковий підхід: за основу приймається посушливий рік **75 % забезпеченості**, а розрахунки виконуються за агрокліматичними показниками, характерними для району проєктування. Саме такий підхід застосовується в навчальному проєктуванні зрошувальних систем і відповідає логіці методичних матеріалів [1], [7], [22].

Для ФГ «Алгоритм» розрахунковим приймається посушливий рік **75 % забезпеченості**, оскільки він найбільш повно відображає умови, за яких зрошення є необхідним для стабільного формування врожаю. У такий рік кількість атмосферних опадів за вегетаційний період є недостатньою, а випаровуваність значно перевищує надходження вологи. Саме тому поливний режим повинен забезпечувати компенсацію дефіциту водного балансу та підтримання оптимальної вологості ґрунту.

Розрахункові кліматичні показники для прийнятого року наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Розрахункові кліматичні показники вегетаційного періоду для року 75 % забезпеченості

Показник	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	За вегетацію
Середня температура повітря, °С	9,2	15,8	19,8	22,1	21,3	16,0	—
Відносна вологість повітря, %	67	62	60	58	56	63	—
Випаровуваність, мм	76	121	151	179	174	108	809
Атмосферні опади, мм	38	48	55	50	42	39	272
Дефіцит водного балансу, мм	38	73	96	129	132	69	537

З таблиці видно, що протягом усього вегетаційного періоду випаровуваність перевищує кількість атмосферних опадів. Найбільший дефіцит вологи спостерігається в липні та серпні, коли він становить відповідно **129 мм** і **132 мм**. Саме в ці місяці формується найбільша потреба у проведенні вегетаційних поливів. Це збігається з критичними періодами водоспоживання кукурудзи, сої, соняшнику та кормових культур.

Для озимої пшениці важливими є умови зволоження навесні та на початку літа, особливо у фазах виходу в трубку, колосіння та наливу зерна. Для кукурудзи на зерно найбільше значення має забезпечення вологою у червні, липні та серпні. Для сої критичним є період бутонізації, цвітіння та наливу бобів. Для соняшнику найбільша потреба у воді припадає на період утворення кошика, цвітіння та наливу насіння. Для люцерни й кукурудзи на силос поливи необхідні для підтримання активного росту вегетативної маси протягом літнього періоду [3], [11], [13], [15].

Прийняття розрахункового року 75 % забезпеченості дозволяє визначити поливний режим, який буде достатньо надійним для умов степової зони. Якщо розрахунки виконувати за середнім роком, система може виявитися недостатньою в посушливі періоди. Якщо ж приймати надто посушливий рік дуже високої забезпеченості, це може призвести до завищення розрахункових витрат води, збільшення діаметрів трубопроводів, потужності насосного обладнання та загальної вартості проєкту. Тому рік 75 % забезпеченості є раціональним компромісом між надійністю водозабезпечення та економічністю проєктних рішень [1], [7], [22].

Отже, для подальших розрахунків режиму зрошення сільськогосподарських культур ФГ «Алгоритм» приймається розрахунковий посушливий рік **75 % забезпеченості**. За цей рік сума випаровуваності за вегетаційний період становить **809 мм**, сума атмосферних опадів — **272 мм**, дефіцит водного балансу — **537 мм**, а індекс посушливості — **2,97**. Такі показники свідчать про значну нестачу природного зволоження та підтверджують необхідність проведення регулярних поливів. Прийнятий розрахунковий рік використовується для подальшого визначення поливних і зрошувальних норм, строків поливів, графіка роботи дощувальних машин Variant Irrigation та розрахункової витрати води для проєктованої зрошувальної мережі.

3.2 Визначення поливних і зрошувальних норм

Визначення поливних і зрошувальних норм є одним із основних етапів розрахунку режиму зрошення. Поливна норма показує кількість води, яку необхідно подати на 1 га поля за один полив для зволоження розрахункового шару ґрунту до оптимального рівня. Зрошувальна норма характеризує загальну кількість води, яку потрібно подати на 1 га культури

за весь вегетаційний період. Від правильного визначення цих показників залежить ефективність роботи зрошувальної системи, витрата води, навантаження на насосне обладнання, графік поливів і економічна доцільність проєкту [1], [7], [22].

Для умов ФГ «Алгоритм» поливні та зрошувальні норми визначаються з урахуванням кліматичних умов Дніпровського району, ґрунтового покриття, біологічних особливостей культур, глибини активного шару кореневої системи та прийнятого способу поливу. Оскільки зрошення проєктується дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation, поливна норма повинна забезпечувати рівномірне зволоження кореневмісного шару ґрунту без утворення поверхневого стоку, перезволоження та погіршення структури ґрунту [6], [16], [18].

Полівна норма залежить від глибини розрахункового шару ґрунту, його об'ємної маси, найменшої вологості та допустимого зниження вологості перед поливом. Для чорноземних ґрунтів середнього та важкого гранулометричного складу, які характерні для території проєктування, важливо не допускати надмірного висушування ґрунту, оскільки це знижує доступність вологи для рослин і погіршує умови засвоєння поживних речовин. Водночас надмірна подача води може спричинити перезволоження, зниження аерації та втрати води на глибинну фільтрацію [5], [17].

Розрахунок поливної норми виконується за формулою:

$$m = 100 \cdot h \cdot \gamma \cdot (\beta_{\text{нв}} - \beta_{\text{доп}}),$$

де m — поливна норма нетто, м³/га;

h — глибина розрахункового шару ґрунту, м;

γ — об'ємна маса ґрунту, т/м³;

$\beta_{\text{нв}}$ — вологість ґрунту, що відповідає найменшій вологості, % від маси сухого ґрунту;

$\beta_{\text{доп}}$ — допустима передполивна вологість ґрунту, % від маси сухого ґрунту.

Для розрахунку приймаємо такі показники ґрунту: об'ємна маса чорнозему $\gamma = 1,25 \text{ т/м}^3$, вологість при найменшій вологоємності $\beta_{\text{нв}} = 26 \%$, допустима передполивна вологість для більшості культур $\beta_{\text{доп}} = 21\text{--}22 \%$. Різниця між найменшою вологоємністю та передполивною вологістю становить у середньому $4\text{--}5 \%$, що відповідає умовам підтримання оптимального водного режиму ґрунту без надмірного висушування [5], [17], [22].

Глибина розрахункового шару залежить від культури та розвитку її кореневої системи. Для озимої пшениці й ярого ячменю приймається шар $0,6 \text{ м}$, для сої та соняшнику — $0,7 \text{ м}$, для кукурудзи на зерно, кукурудзи на силос і люцерни — $0,8 \text{ м}$. Такі значення відповідають активному шару ґрунту, у якому розміщується основна маса кореневої системи та з якого рослини використовують найбільшу частину продуктивної вологи [3], [11], [13], [15].

Для озимої пшениці розрахункова глибина зволоження становить $0,6 \text{ м}$. За умови, що різниця між найменшою вологоємністю і допустимою передполивною вологістю дорівнює $4,5 \%$, поливна норма становить:

$$m = 100 \cdot 0,6 \cdot 1,25 \cdot 4,5 = 337,5 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Приймаємо поливну норму для озимої пшениці $340 \text{ м}^3/\text{га}$.

Для ярого ячменю розрахунковий шар також приймається $0,6 \text{ м}$, але через коротший вегетаційний період і необхідність уникнення перезволоження приймаємо дещо меншу різницю вологості — $4,0 \%$:

$$m = 100 \cdot 0,6 \cdot 1,25 \cdot 4,0 = 300 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Приймаємо поливну норму для ярого ячменю 300 м³/га.

Для кукурудзи на зерно розрахунковий шар зволоження приймається 0,8 м, оскільки культура має добре розвинену кореневу систему та значну потребу у воді в період інтенсивного росту й формування зерна. При різниці вологості 5,0 % поливна норма становить:

$$m = 100 \cdot 0,8 \cdot 1,25 \cdot 5,0 = 500 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Приймаємо поливну норму для кукурудзи на зерно 500 м³/га.

Для сої розрахунковий шар зволоження приймається 0,7 м. У період бутонізації, цвітіння та наливу бобів соя потребує стабільної вологості ґрунту, але негативно реагує на перезволоження. При різниці вологості 4,5 % поливна норма становить:

$$m = 100 \cdot 0,7 \cdot 1,25 \cdot 4,5 = 393,75 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Приймаємо поливну норму для сої 400 м³/га.

Для соняшнику, з урахуванням його потужної кореневої системи та відносної посухостійкості, розрахунковий шар приймається 0,7 м. При різниці вологості 4,0 %:

$$m = 100 \cdot 0,7 \cdot 1,25 \cdot 4,0 = 350 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Приймаємо поливну норму для соняшнику 350 м³/га.

Для люцерни розрахунковий шар зволоження приймається 0,8 м, оскільки вона має глибоку кореневу систему та формує кілька укосів за сезон. Для забезпечення швидкого відростання після укосів необхідно підтримувати достатню вологість ґрунту. При різниці вологості 5,0 %:

$$m = 100 \cdot 0,8 \cdot 1,25 \cdot 5,0 = 500 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Приймаємо поливну норму для люцерни 500 м³/га.

Для кукурудзи на силос, як високопродуктивної кормової культури, розрахунковий шар також приймається 0,8 м, а різниця вологості — 5,0 %:

$$m = 100 \cdot 0,8 \cdot 1,25 \cdot 5,0 = 500 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Приймаємо поливну норму для кукурудзи на силос 500 м³/га.

Результати визначення поливних норм наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Визначення поливних норм сільськогосподарських культур

Культура	Розрахунковий шар ґрунту, м	Об'ємна маса ґрунту, т/м ³	в _{нв} , %	в _{доп} , %	Різниця вологості, %	Поливна норма, м ³ /га
Озима пшениця	0,6	1,25	26	21,5	4,5	340
Ярий ячмінь	0,6	1,25	26	22,0	4,0	300
Кукурудза на зерно	0,8	1,25	26	21,0	5,0	500
Соя	0,7	1,25	26	21,5	4,5	400
Соняшник	0,7	1,25	26	22,0	4,0	350
Люцерна	0,8	1,25	26	21,0	5,0	500
Кукурудза на силос	0,8	1,25	26	21,0	5,0	500

Одержані поливні норми відповідають умовам дощувального зрошення та забезпечують зволоження активного шару ґрунту для кожної культури. Для культур із коротшим вегетаційним періодом і меншою глибиною кореневої системи прийняті менші поливні норми. Для кукурудзи, люцерни та кукурудзи на силос, які мають більшу потребу у воді та глибшу кореневу систему, прийняті вищі поливні норми.

Зрошувальна норма визначається як сумарна кількість води, яку необхідно подати на 1 га культури протягом вегетаційного періоду. Вона залежить від поливної норми та кількості поливів:

$$M = m \cdot n,$$

де M — зрошувальна норма нетто, м³/га;

m — поливна норма нетто, м³/га;

n — кількість поливів за вегетаційний період.

Кількість поливів приймається з урахуванням біологічних особливостей культур, їх критичних періодів водоспоживання, дефіциту водного балансу та розрахункового року 75 % забезпеченості. Для озимої пшениці передбачається 3 вегетаційні поливи, для ярого ячменю — 2 поливи, для кукурудзи на зерно — 5 поливів, для сої — 4 поливи, для соняшнику — 3 поливи, для люцерни — 5 поливів, для кукурудзи на силос — 4 поливи [3], [11], [13], [15], [17].

Результати визначення зрошувальних норм наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Визначення зрошувальних норм сільськогосподарських культур

Культура	Полівна норма, м ³ /га	Кількість поливів	Зрошувальна норма нетто, м ³ /га
Озима пшениця	340	3	1020
Ярий ячмінь	300	2	600
Кукурудза на зерно	500	5	2500
Соя	400	4	1600
Соняшник	350	3	1050
Люцерна	500	5	2500
Кукурудза на силос	500	4	2000

Найбільші зрошувальні норми мають кукурудза на зерно та люцерна — 2500 м³/га, що пояснюється їх високою потребою у воді протягом

тривалого періоду вегетації. Для кукурудзи на силос зрошувальна норма становить 2000 м³/га, оскільки культура формує значну вегетативну масу і потребує достатнього зволоження в період інтенсивного росту. Для сої зрошувальна норма становить 1600 м³/га, що забезпечує підтримання вологості ґрунту у фазах бутонізації, цвітіння та наливу бобів. Для озимої пшениці, ярого ячменю та соняшнику зрошувальні норми є меншими, оскільки ці культури мають короткий або менш водовимогливий період активного водоспоживання.

Оскільки зрошувальна вода під час транспортування та поливу частково втрачається, для подальших гідравлічних і водогосподарських розрахунків необхідно визначити зрошувальну норму брутто. Вона враховує коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи:

$$M_{бр} = M_{нетто} / \eta,$$

де $M_{бр}$ — зрошувальна норма брутто, м³/га;

$M_{нетто}$ — зрошувальна норма нетто, м³/га;

η — коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи.

Для закритої трубопровідної мережі з дощувальними машинами фронтальної дії приймаємо коефіцієнт корисної дії системи $\eta = 0,90$. Такий показник враховує втрати води під час транспортування, підключення дощувальних машин, роботу арматури та можливі експлуатаційні втрати [1], [7], [18].

Розрахунок зрошувальних норм брутто наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Зрошувальні норми нетто і брутто

Культура	Зрошувальна норма нетто, м³/га	ККД системи	Зрошувальна норма брутто, м³/га
Озима пшениця	1020	0,90	1133
Ярий ячмінь	600	0,90	667
Кукурудза на зерно	2500	0,90	2778
Соя	1600	0,90	1778
Соняшник	1050	0,90	1167
Люцерна	2500	0,90	2778
Кукурудза на силос	2000	0,90	2222

Зрошувальна норма брутто показує фактичну кількість води, яку необхідно забрати з джерела зрошення та подати в систему для забезпечення потреб культури. Найбільша потреба у воді з урахуванням втрат припадає на кукурудзу на зерно та люцерну — 2778 м³/га, а також кукурудзу на силос — 2222 м³/га. Найменша зрошувальна норма брутто прийнята для ярого ячменю — 667 м³/га, що пояснюється коротким періодом вегетації та меншою кількістю поливів.

Для визначення середньозваженої зрошувальної норми по запроєктованій сівоzmіні використовуємо структуру посівних площ, прийняту в підрозділі 2.2. Розрахунок виконується за формулою:

$$M_{\text{ср}} = \Sigma(M_i \cdot \alpha_i) / 100,$$

де $M_{\text{ср}}$ — середньозважена зрошувальна норма, м³/га;

M_i — зрошувальна норма культури, м³/га;

α_i — частка культури в структурі посівів, %.

Розрахунок середньозваженої зрошувальної норми нетто наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 — Розрахунок середньозваженої зрошувальної норми нетто

Культура	Частка в структурі посівів, %	Зрошувальна норма нетто, м³/га	Добуток, м³/га
Озима пшениця	25	1020	25500
Кукурудза на зерно	20	2500	50000
Ярий ячмінь	10	600	6000
Соя	15	1600	24000
Соняшник	20	1050	21000
Люцерна / кукурудза на силос	10	2250	22500
Разом	100	—	149000

Для кормових культур у структурі посівів прийнято середню зрошувальну норму 2250 м³/га, оскільки до цієї групи входять люцерна із зрошувальною нормою 2500 м³/га та кукурудза на силос із нормою 2000 м³/га.

Середньозважена зрошувальна норма нетто становить:

$$\text{Мср.нетто} = 149000 / 100 = 1490 \text{ м}^3/\text{га}.$$

З урахуванням коефіцієнта корисної дії системи середньозважена зрошувальна норма брутто становить:

$$\text{Мср.брутто} = 1490 / 0,90 = 1656 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Отже, для запроєктованої структури посівних площ ФГ «Алгоритм» середньозважена зрошувальна норма становить 1490 м³/га нетто і 1656 м³/га брутто. Ці показники використовуються для подальших розрахунків загальної потреби у воді, графіка поливів, витрати зрошувальної мережі, параметрів насосної станції та оцінки економічної ефективності проєкту.

Прийняті поливні норми відповідають умовам дощувального зрошення чорноземних ґрунтів степової зони та біологічним особливостям культур. Для запобігання утворенню поверхневого стоку інтенсивність дощу дощувальних машин Variant Irrigation повинна бути меншою або рівною водопроникності ґрунту. Також необхідно проводити поливи у такі строки, коли втрати води на випаровування і знесення вітром є мінімальними, тобто переважно у вечірні, нічні або ранкові години [6], [18].

Отже, у цьому підрозділі визначено поливні та зрошувальні норми для культур запроєктованої сівозміни ФГ «Алгоритм». Поливні норми прийнято в межах від 300 до 500 м³/га, залежно від культури та глибини активного шару ґрунту. Зрошувальні норми нетто становлять від 600 м³/га для ярого ячменю до 2500 м³/га для кукурудзи на зерно та люцерни. Середньозважена зрошувальна норма для запроєктованої структури посівів становить 1490 м³/га нетто, або 1656 м³/га брутто. Отримані значення є основою для подальшого визначення строків і кількості поливів, графіка роботи дощувальних машин та розрахунку параметрів зрошувальної мережі.

3.3 Визначення строків і кількості поливів

Визначення строків і кількості поливів є важливим етапом розрахунку режиму зрошення, оскільки саме ці показники забезпечують відповідність подачі води потребам сільськогосподарських культур у різні фази їх росту й розвитку. Поливи повинні проводитися не рівномірно протягом усього

вегетаційного періоду, а в ті строки, коли рослини найбільше потребують вологи. У наданому зразку кваліфікаційної роботи режим зрошення також визначається через встановлення норм, строків поливу та побудову графіка поливів запроєктованої сівозміни.

У попередньому підрозділі було визначено поливні та зрошувальні норми для культур, передбачених у структурі посівних площ ФГ «Алгоритм». Подальше завдання полягає у встановленні строків проведення поливів протягом вегетаційного періоду. При цьому враховуються біологічні особливості культур, критичні періоди водоспоживання, розрахунковий посушливий рік 75 % забезпеченості, дефіцит водного балансу, запаси продуктивної вологи в ґрунті та технічні можливості дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation [3], [7], [17].

Для умов Дніпровського району Дніпропетровської області найбільший дефіцит вологи формується у червні, липні та серпні. Саме в цей період випаровуваність значно перевищує кількість атмосферних опадів, а потреба сільськогосподарських культур у воді досягає максимальних значень. Тому основна кількість вегетаційних поливів припадає на літні місяці. Весняні поливи мають значення переважно для озимої пшениці, ярого ячменю та початкового розвитку ярих культур, а пізньолітні — для культур із тривалим періодом вегетації, зокрема кукурудзи, сої, соняшнику, люцерни та кукурудзи на силос [3], [11], [13], [15].

Кількість поливів для кожної культури встановлюється відповідно до її зрошувальної норми та прийнятої поливної норми. Для озимої пшениці прийнято 3 поливи, для ярого ячменю — 2 поливи, для кукурудзи на зерно — 5 поливів, для сої — 4 поливи, для соняшнику — 3 поливи, для люцерни — 5 поливів, для кукурудзи на силос — 4 поливи. Така кількість поливів забезпечує підтримання вологості ґрунту в активному шарі кореневої системи в періоди найбільшої потреби культур у воді [3], [17], [22].

Для озимої пшениці основні поливи передбачаються у весняно-літній період. Перший полив проводиться у фазі виходу рослин у трубку, коли формується продуктивний стеблостій. Другий полив призначається у фазі колосіння — цвітіння, коли нестача вологи може спричинити зменшення кількості зерен у колосі. Третій полив проводиться на початку наливу зерна для забезпечення його виповненості та підвищення маси зерна. Прийняті строки поливів для озимої пшениці: друга декада травня, перша декада червня та друга декада червня.

Для ярого ячменю, який має коротший вегетаційний період, передбачено два вегетаційні поливи. Перший полив проводиться у фазі кущіння — виходу в трубку, коли формується продуктивна кущистість. Другий полив призначається у фазі колосіння — формування зерна. Надмірне зволоження ярого ячменю є небажаним, оскільки може призвести до вилягання посівів і погіршення якості зерна. Тому поливи проводяться помірними нормами у найбільш відповідальні фази розвитку культури [3], [12].

Кукурудза на зерно має тривалий період вегетації та високу потребу у воді. Для неї передбачено п'ять поливів. Перший полив проводиться у фазі 8–10 листків, коли рослини переходять до інтенсивного росту. Другий полив припадає на період перед викиданням волоті. Третій полив проводиться у фазі цвітіння, яка є критичною щодо вологозабезпечення. Четвертий полив призначається у період формування зерна, а п'ятий — у фазі наливу зерна. Така схема дозволяє забезпечити рослини вологою в найбільш відповідальні періоди формування врожаю [13], [17].

Для сої прийнято чотири поливи. Перший полив проводиться у фазі бутонізації, коли рослини переходять до генеративного розвитку. Другий полив призначається на початку цвітіння, третій — у період масового цвітіння та формування бобів, четвертий — під час наливу насіння. Соя негативно реагує як на нестачу, так і на надлишок вологи, тому поливи

повинні забезпечувати рівномірний водний режим без перезволоження ґрунту [15], [21].

Для соняшнику передбачено три поливи. Перший полив проводиться у фазі інтенсивного росту й утворення кошика. Другий полив призначається у фазі цвітіння, коли визначається кількість насіння в кошику. Третій полив проводиться у період наливу насіння. Незважаючи на відносну посухостійкість соняшнику, забезпечення вологою в ці фази дає змогу підвищити врожайність і поліпшити якість насіння [10], [14].

Для люцерни прийнято п'ять поливів протягом вегетаційного періоду. Особливістю цієї культури є здатність формувати кілька укосів за сезон, тому поливи необхідно пов'язувати з фазами відростання після укосів. Перший полив проводиться навесні на початку активного росту. Наступні поливи призначаються після укосів і на початку бутонізації, що забезпечує швидке відростання рослин, формування листкової маси та високу врожайність зеленої маси або сіна [3], [12].

Для кукурудзи на силос передбачено чотири поливи. Перший полив проводиться у фазі інтенсивного росту рослин, другий — перед викиданням волоті, третій — у фазі цвітіння, четвертий — у період формування качанів і наростання зеленої маси. Такий режим забезпечує формування високої врожайності силосної маси та підвищує її кормову цінність [13], [20].

Строки й кількість поливів для культур запроєктованої сівозміни наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 — Строки і кількість поливів сільськогосподарських культур

Культура	Кількість поливів	Поливна норма, м³/га	Строки проведення поливів	Фаза розвитку культури
Озима пшениця	3	340	10–20 травня	Вихід у трубку
		340	1–10 червня	Колосіння — цвітіння
		340	15–25 червня	Налив зерна
Ярий ячмінь	2	300	15–25 травня	Кущіння — вихід у трубку
		300	5–15 червня	Колосіння — формування зерна
Кукурудза на зерно	5	500	10–20 червня	8–10 листків
		500	25 червня — 5 липня	Перед викиданням волоті
		500	10–20 липня	Цвітіння
		500	25 липня — 5 серпня	Формування зерна
		500	10–20 серпня	Налив зерна
Соя	4	400	15–25 червня	Бутонізація
		400	1–10 липня	Початок цвітіння
		400	15–25 липня	Цвітіння — формування бобів
		400	1–10 серпня	Налив насіння
Соняшник	3	350	20–30 червня	Утворення кошика
		350	10–20 липня	Цвітіння
		350	1–10 серпня	Налив насіння
Люцерна	5	500	1–10 травня	Весняне відростання
		500	1–10 червня	Після першого укусу
		500	25 червня — 5 липня	Бутонізація — відростання
		500	20–30 липня	Після другого укусу
		500	15–25 серпня	Відростання після укусу
Кукурудза на силос	4	500	10–20 червня	Інтенсивний ріст

		500	1–10 липня	Перед викиданням волоті
		500	15–25 липня	Цвітіння
		500	1–10 серпня	Формування качанів і зеленої маси

З таблиці видно, що основна кількість поливів припадає на період із червня по серпень. Це пояснюється тим, що саме в цей час у районі проєктування формується найбільший дефіцит вологи, а більшість культур проходить критичні фази водоспоживання. У травні поливи проводяться переважно для озимої пшениці, ярого ячменю та люцерни. У червні починаються поливи кукурудзи, сої, соняшнику та кукурудзи на силос. У липні та серпні навантаження на зрошувальну систему є найбільшим.

Для планування роботи дощувальних машин важливо визначити загальну кількість поливів у межах кожного місяця. Це дозволяє встановити періоди найбільшого навантаження на насосну станцію, трубопровідну мережу та дощувальну техніку. Розподіл поливів за місяцями наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 — Розподіл поливів за місяцями вегетаційного періоду

Культура	Травень	Червень	Липень	Серпень	Разом
Озима пшениця	1	2	—	—	3
Ярий ячмінь	1	1	—	—	2
Кукурудза на зерно	—	1	3	1	5
Соя	—	1	2	1	4
Соняшник	—	1	1	1	3
Люцерна	1	2	1	1	5
Кукурудза на силос	—	1	2	1	4

Найбільша кількість поливів припадає на липень. У цей місяць проводяться основні поливи кукурудзи на зерно, сої, соняшнику, люцерни та кукурудзи на силос. Саме липень є найбільш напруженим періодом для роботи зрошувальної системи, оскільки поєднуються максимальна потреба культур у воді, висока температура повітря, значна випаровуваність і підвищений ризик суховіїв. Тому при подальшій побудові графіка поливів необхідно особливу увагу приділити рівномірному розподілу навантаження на систему в цей період.

Строки поливів можуть коригуватися залежно від фактичних погодних умов, вологості ґрунту та стану рослин. У роки з більшою кількістю опадів окремі поливи можуть зміщуватися або скасовуватися, а в посушливі роки інтервали між поливами скорочуються. Однак для проєктного розрахунку приймаються строки, характерні для розрахункового посушливого року 75 % забезпеченості, що забезпечує надійність системи в умовах дефіциту природного зволоження [1], [7], [22].

При використанні дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation необхідно враховувати не тільки календарні строки, а й умови проведення поливу. Найкращими для дощування є ранкові, вечірні та нічні години, коли температура повітря нижча, відносна вологість вища, а швидкість вітру менша. Це дозволяє зменшити втрати води на випаровування і знесення крапель, підвищити рівномірність поливу та ефективність використання зрошувальної води [6], [18].

Визначені строки і кількість поливів є основою для подальшого складання графіка поливу запроєктованої сівозміни. Графік поливів дає змогу узгодити роботу дощувальних машин, насосної станції та трубопровідної мережі, уникнути перевантаження системи в окремі періоди та забезпечити своєчасне зволоження всіх культур. Особливо важливим є правильне планування роботи системи в липні та серпні, коли потреба у воді є найбільшою.

Отже, для культур зрошуваної ділянки ФГ «Алгоритм» визначено строки і кількість поливів відповідно до їх біологічних особливостей і критичних періодів водоспоживання. Загальна кількість поливів становить: для озимої пшениці — **3**, ярого ячменю — **2**, кукурудзи на зерно — **5**, сої — **4**, соняшнику — **3**, люцерни — **5**, кукурудзи на силос — **4**. Основний період поливів припадає на червень, липень і серпень, що відповідає періоду найбільшого дефіциту вологи в умовах Дніпровського району. Прийняті строки поливів забезпечують підтримання оптимального водного режиму ґрунту та створюють умови для отримання стабільних урожаїв сільськогосподарських культур.

3.4 Обґрунтування способу поливу

Вибір способу поливу є одним із ключових проєктних рішень при розробці системи зрошення. Від правильно обраного способу залежить рівномірність зволоження ґрунту, ефективність використання водних ресурсів, витрати електроенергії, можливість механізації та автоматизації процесу поливу, вплив зрошення на ґрунтовий покрив, урожайність сільськогосподарських культур і загальна економічна ефективність проєкту. Для умов фермерського господарства «Алгоритм» спосіб поливу повинен відповідати природно-кліматичним умовам Дніпровського району, властивостям чорноземних ґрунтів, структурі посівних площ, рельєфу території та технічним можливостям господарства [1], [7], [18].

У сучасній практиці зрошення застосовують кілька основних способів поливу: поверхневий полив, дощування, краплинне зрошення та внутрішньогрунтове зрошення. Кожен із цих способів має свої переваги, недоліки та сферу раціонального застосування. Поверхневий полив передбачає подачу води по борознах, смугах або чеках. Такий спосіб потребує ретельного планування поверхні поля, має значні втрати води на

фільтрацію та випаровування, може спричиняти нерівномірне зволоження ґрунту, утворення поверхневого стоку та розвиток ерозійних процесів. Для умов ФГ «Алгоритм», де передбачається використання сучасної закритої мережі та машинного поливу, поверхневий спосіб є менш доцільним [5], [7]. Краплинне зрошення забезпечує подачу води безпосередньо в зону розміщення кореневої системи рослин і характеризується високою ефективністю використання води. Проте цей спосіб є найбільш доцільним для садів, виноградників, овочевих культур, ягідників та культур із чітко вираженим рядковим розміщенням. Для великих польових масивів із зерновими, технічними, зернобобовими та кормовими культурами краплинне зрошення потребує значних капітальних витрат на краплинні лінії, фільтрацію води, монтаж, демонтаж і технічне обслуговування системи. Тому для запроєктованої структури посівних площ ФГ «Алгоритм» воно не є основним способом поливу [7], [23].

Найбільш обґрунтованим способом поливу для умов даного проєкту є дощування. Дощування полягає у подачі води на поле у вигляді штучного дощу за допомогою дощувальних машин або установок. Цей спосіб наближений до природного випадання опадів і забезпечує рівномірне зволоження поверхні ґрунту. Дощування дає змогу регулювати поливні норми, проводити поливи відповідно до потреб культур, застосовувати його на різних типах ґрунтів і для широкого набору сільськогосподарських культур [3], [18], [24].

Для ФГ «Алгоритм» дощування має низку важливих переваг. По-перше, воно відповідає структурі посівних площ господарства, де передбачено вирощування озимої пшениці, ярого ячменю, кукурудзи на зерно, сої, соняшнику, люцерни та кукурудзи на силос. Усі ці культури можуть ефективно вирощуватися за умов дощувального зрошення. По-друге, дощування дозволяє рівномірно розподіляти воду по всій площі поля, що особливо важливо для культур суцільного висіву та широкорядних

культур. По-третє, такий спосіб поливу дає можливість механізувати процес зрошення та зменшити потребу в ручній праці.

Дощування є доцільним також з огляду на ґрунтові умови території проєктування. Чорноземні ґрунти Дніпровського району мають високу природну родючість і добру вологоутримувальну здатність, але в умовах значної випаровуваності та недостатньої кількості опадів потребують регулярного поповнення запасів продуктивної вологи. При правильно підібраній інтенсивності штучного дощу вода вбирається в ґрунт поступово, без утворення поверхневого стоку, перезволоження та руйнування структури ґрунту [5], [17].

Однією з головних вимог до дощування є відповідність інтенсивності дощу водопроникності ґрунту. Якщо інтенсивність подачі води перевищує здатність ґрунту її вбирати, виникає поверхневий стік, що призводить до втрат води, нерівномірного зволоження та можливого розвитку ерозії. Тому при виборі дощувальної техніки необхідно враховувати гранулометричний склад ґрунту, ухили поверхні, поливні норми та швидкість руху машин. Для запроєктованої системи поливу приймається такий режим роботи дощувальних машин, за якого інтенсивність дощу не перевищує водопоглинальну здатність чорноземних ґрунтів [7], [18].

З урахуванням конфігурації зрошуваного масиву та структури посівних площ у проєкті приймається використання дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Фронтальні дощувальні машини рухаються поступально вздовж поля та забезпечують рівномірне зрошення прямокутної або близької до прямокутної ділянки. На відміну від кругових машин, які зрошують площу у вигляді кола, фронтальні машини краще використовують площу поля прямокутної форми, зменшують кількість незрошуваних кутових ділянок і дозволяють ефективніше організувати польову сівозміну [6], [16].

Використання дощувальних машин фронтальної дії є особливо доцільним для господарств, де поля мають витягнуту або прямокутну форму. Така техніка забезпечує рівномірний рух уздовж поля, а вода подається до дощувальних апаратів по трубопроводу машини. Це дозволяє створювати рівномірний шар опадів по всій ширині захвату, підтримувати задану поливну норму та забезпечувати якісне зволоження ґрунту. Для умов ФГ «Алгоритм» це має важливе значення, оскільки проєктується зрошення польових культур на значній площі.

До переваг дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation належать висока продуктивність, можливість автоматизації роботи, рівномірність розподілу води, зручність регулювання поливної норми, можливість використання на різних культурах і зменшення трудових витрат. Крім того, така техніка забезпечує більш раціональне використання площі порівняно з круговими машинами, що є важливим для підвищення коефіцієнта земельного використання зрошуваного масиву [6], [16].

Важливою перевагою дощування є можливість оперативно змінювати режим поливу залежно від фази розвитку культури, погодних умов і запасів продуктивної вологи в ґрунті. У періоди високих температур і суховіїв поливи можуть проводитися частіше або в нічні години, коли втрати води на випаровування та знесення крапель вітром є меншими. Це дозволяє підвищити ефективність використання зрошувальної води та зменшити непродуктивні втрати [18], [22].

Дощування також має агротехнічні переваги. Воно не потребує складного планування поверхні поля, як поверхневий полив, і може застосовуватися на ділянках зі слабкохвилястим рельєфом. При цьому зберігається можливість механізованого обробітку ґрунту, сівби, догляду за посівами та збирання врожаю. Закрита трубопровідна мережа не займає значної площі, не перешкоджає руху сільськогосподарської техніки та має менші втрати води порівняно з відкритими каналами [1], [7].

Разом із тим при використанні дощування необхідно враховувати окремі обмеження. Якість поливу може знижуватися при сильному вітрі, оскільки краплі води зносяться вбік, а рівномірність зволоження погіршується. За високої температури повітря та низької відносної вологості частина води втрачається на випаровування. Тому при експлуатації дощувальних машин необхідно планувати поливи переважно у ранкові, вечірні або нічні години, коли метеорологічні умови є більш сприятливими для дощування [18], [24].

Для запроєктованої системи зрошення приймається подача води від джерела зрошення через насосну станцію та закриту трубопровідну мережу до дощувальних машин фронтальної дії. Така схема дозволяє забезпечити необхідний напір, стабільну витрату води, зменшити втрати під час транспортування та підвищити коефіцієнт корисної дії системи. Закрита мережа також дає можливість зручно розміщувати гідранти або точки підключення машин на зрошуваному масиві [1], [7].

При виборі способу поливу враховується також економічний фактор. Хоча будівництво системи дощування з використанням сучасних фронтальних машин потребує капітальних вкладень, у процесі експлуатації воно забезпечує підвищення врожайності, зменшення ризиків, пов'язаних із посухами, раціональне використання води й енергії та скорочення трудових витрат. За рахунок стабілізації врожайності й збільшення валової продукції витрати на впровадження системи можуть окупитися протягом періоду експлуатації проєкту [19], [22].

Порівняльна характеристика основних способів поливу наведена в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 — Порівняльна характеристика способів поливу для умов ФГ «Алгоритм»

Спосіб поливу	Переваги	Недоліки	Оцінка придатності для проєкту
Поверхневий полив	Простота подачі води, можливість використання на вирівняних ділянках	Значні втрати води, потреба у плануванні поверхні, ризик ерозії та нерівномірного зволоження	Не приймається як основний спосіб
Краплинне зрошення	Висока економія води, подача вологи в зону коренів	Висока вартість, потреба у фільтрації, складність використання на великих площах польових культур	Не приймається як основний спосіб для даної сівозміни
Дощування	Рівномірне зволоження, придатність для польових культур, механізація поливу, можливість регулювання норм	Залежність від вітру та температури, потреба в насосному напорі	Приймається як основний спосіб поливу
Дощування фронтальними машинами	Висока продуктивність, ефективне використання прямокутних полів, рівномірність поливу, автоматизація	Потреба в закритій мережі, насосному обладнанні та якісному обслуговуванні	Приймається для проєктованої системи

З таблиці видно, що для умов ФГ «Алгоритм» найбільш раціональним є дощування із застосуванням дощувальних машин фронтальної дії. Цей спосіб поливу відповідає структурі посівних площ, ґрунтовим умовам, рельєфу території та технічним вимогам сучасного зрошення. Він забезпечує необхідну рівномірність поливу, дозволяє регулювати поливні

норми, зменшує втрати води порівняно з поверхневими способами та забезпечує високу продуктивність роботи системи.

Отже, у проєкті для ФГ «Алгоритм» приймається спосіб поливу — дощування дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation. Такий спосіб є найбільш придатним для зрошення озимої пшениці, ярого ячменю, кукурудзи на зерно, сої, соняшнику, люцерни та кукурудзи на силос. Він забезпечує рівномірне зволоження ґрунту, ефективне використання водних ресурсів, можливість механізації й автоматизації поливів, а також відповідає природно-кліматичним і виробничим умовам господарства. Прийнятий спосіб поливу використовується в подальших розрахунках продуктивності дощувальних машин, графіка поливів і параметрів зрошувальної мережі.

3.5 Технічна характеристика дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation

Дощувальні машини фронтальної дії є сучасним видом широкозахватної зрошувальної техніки, що використовується для поливу сільськогосподарських культур на полях прямокутної або близької до прямокутної форми. На відміну від кругових дощувальних машин, які рухаються навколо нерухомої центральної опори, фронтальні машини переміщуються поступально вздовж поля. Завдяки цьому вони забезпечують ефективне використання площі зрошуваного масиву, зменшують кількість незрошуваних ділянок і дають можливість рівномірно подавати воду по всій ширині захвату [6], [16].

У проєкті зрошення ФГ «Алгоритм» приймається використання дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Такі машини належать до широкозахватних систем механізованого поливу й призначені для зрошення середніх і великих сільськогосподарських масивів. За даними

виробника, Variant Irrigation виготовляє лінійні системи, у яких уся конструкція рухається вздовж зрошуваної площі, а подача води може здійснюватися від закритої мережі або з відкритого каналу. Для лінійних систем також передбачаються одно- та двокриллі варіанти виконання.

Фронтальна дощувальна машина складається з водопровідного трубопроводу, опорних візків, електроприводів, дощувальних апаратів, системи керування, вузлів підключення до джерела води та елементів безпеки. Водопровідний трубопровід одночасно є несучим елементом конструкції та каналом транспортування води до дощувальних насадок. Він установлюється на металевих фермах, які спираються на самохідні опорні візки. Під час роботи машина рівномірно переміщується вздовж поля, а вода подається через дощувальні апарати у вигляді штучного дощу.

Конструкція машин Variant Irrigation розрахована на роботу в умовах сільськогосподарського виробництва й може комплектуватися відповідно до параметрів конкретного поля. Виробник зазначає, що його широкозахватні системи призначені для полів різної площі та конфігурації, а лінійні машини рухаються вздовж поля, забезпечуючи полив прямокутних і видовжених ділянок. Також у каталозі Variant Irrigation підкреслено переваги широкозахватних машин: високу економічну ефективність, низький робочий тиск, зменшення трудових витрат і високу ефективність поливу.

Для умов ФГ «Алгоритм» фронтальна машина є раціональним варіантом, оскільки проєктована структура посівних площ передбачає вирощування польових культур: озимої пшениці, ярого ячменю, кукурудзи на зерно, сої, соняшнику, люцерни та кукурудзи на силос. Усі ці культури можуть ефективно поливатися способом дощування. Фронтальний рух машини дозволяє забезпечити рівномірний полив на полях прямокутної форми та створити стабільні умови зволоження для культур із різними строками вегетації і критичними періодами водоспоживання [3], [7], [17].

Подача води до фронтальної машини здійснюється через гнучкий шланг або від гідрантів закритої зрошувальної мережі, розташованих уздовж поля. Для проєктованої системи ФГ «Алгоритм» приймається подача води від насосної станції через закриту трубопровідну мережу до гідрантів, з яких вода подається до машини Variant Irrigation. Така схема зменшує втрати води на транспортування, підвищує коефіцієнт корисної дії системи та забезпечує стабільніший тиск у мережі.

Важливою технічною особливістю дощувальних машин Variant Irrigation є можливість індивідуального підбору конструкції залежно від потреб господарства. Довжина машини, кількість прольотів, ширина захвату, тип дощувальних апаратів, робочий тиск і витрата води визначаються відповідно до розмірів поля, культури, поливної норми, водопроникності ґрунту та можливостей насосної станції. Завдяки цьому фронтальна машина може бути пристосована до конкретних умов зрошуваного масиву.

Основними технічними параметрами, які враховуються при виборі дощувальної машини фронтальної дії, є:

- довжина машини;
- ширина захвату;
- кількість опорних візків;
- витрата води;
- робочий тиск;
- інтенсивність дощу;
- швидкість руху машини;
- площа, що поливається за один прохід;
- добова продуктивність;
- можливість автоматичного керування;
- тип дощувальних насадок;
- спосіб підключення до водопровідної мережі.

Для проєктованої ділянки ФГ «Алгоритм» приймається дощувальна машина фронтальної дії Variant Irrigation із параметрами, наведеними в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 — Проєктна технічна характеристика дощувальної машини фронтальної дії Variant Irrigation

Показник	Одиниця виміру	Значення
Тип машини	—	фронтальна, лінійного переміщення
Марка	—	Variant Irrigation
Спосіб руху	—	поступальний уздовж поля
Спосіб подачі води	—	від закритої трубопровідної мережі через гідранти
Довжина машини	м	400
Робоча ширина захвату	м	400
Довжина робочого ходу	м	1000
Площа поливу за один прохід	га	40
Робочий тиск на вході в машину	МПа	0,35–0,45
Робочий тиск на вході в машину	м вод. ст.	35–45
Витрата води машини	л/с	55
Витрата води машини	м³/год	198
Середня інтенсивність дощу	мм/год	8–12
Поливна норма за один прохід	м³/га	300–500
Швидкість руху	м/год	регульована
Тип дощувальних апаратів	—	низьконапірні дощувальні насадки
Керування	—	електричне, з можливістю автоматизації
Привід опорних візків	—	електричний
Культури для поливу	—	зернові, технічні, зернобобові, кормові

Прийнята довжина машини 400 м забезпечує ширину захвату, достатню для ефективного поливу прямокутної ділянки. При довжині робочого ходу 1000 м площа, що зрошується за один повний прохід машини, становить:

$$F = B \cdot L / 10000,$$

де F — площа поливу за один прохід, га;

B — ширина захвату машини, м;

L — довжина робочого ходу, м.

$$F = 400 \cdot 1000 / 10000 = 40 \text{ га.}$$

Отже, одна фронтальна машина Variant Irrigation за один прохід забезпечує полив площі 40 га. Така площа є зручною для організації польової сівозміни, розміщення культур і подальшого складання графіка поливів.

Витрата води машини приймається 55 л/с, або 198 м³/год. Така витрата забезпечує можливість подачі поливних норм у межах 300–500 м³/га, які були визначені в попередньому підрозділі для культур запроєктованої сівозміни. За потреби фактична поливна норма регулюється зміною швидкості руху машини. Чим меншою є швидкість руху, тим більший шар води подається на поле; чим більшою є швидкість, тим меншою буде поливна норма.

Робочий тиск на вході в машину приймається в межах 0,35–0,45 МПа, що відповідає умовам роботи сучасних низьконапірних дощувальних систем. Низьконапірне дощування дозволяє зменшити витрати електроенергії на створення напору, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити більш ощадне використання води. За каталогом Variant Irrigation однією з переваг таких машин є саме низький робочий тиск і економічна ефективність.

Середня інтенсивність дощу приймається 8–12 мм/год. Таке значення відповідає умовам дощування чорноземних суглинистих ґрунтів і не повинно перевищувати їх водопоглинальну здатність. Це важливо для запобігання утворенню поверхневого стоку, ґрунтової кірки, ерозії та нерівномірного зволоження поля. При необхідності інтенсивність дощу може коригуватися за рахунок вибору типу дощувальних насадок, робочого тиску та швидкості руху машини [5], [18].

Дощувальні насадки, встановлені на машині, повинні забезпечувати рівномірний розподіл води по всій ширині захвату. У сучасних машинах Variant Irrigation можуть використовуватися комплектуючі світових виробників. Зокрема, у матеріалах виробника зазначено використання компонентів відомих брендів, зокрема Senninger, Nelson, Komet та інших, що підвищує надійність і якість роботи системи.

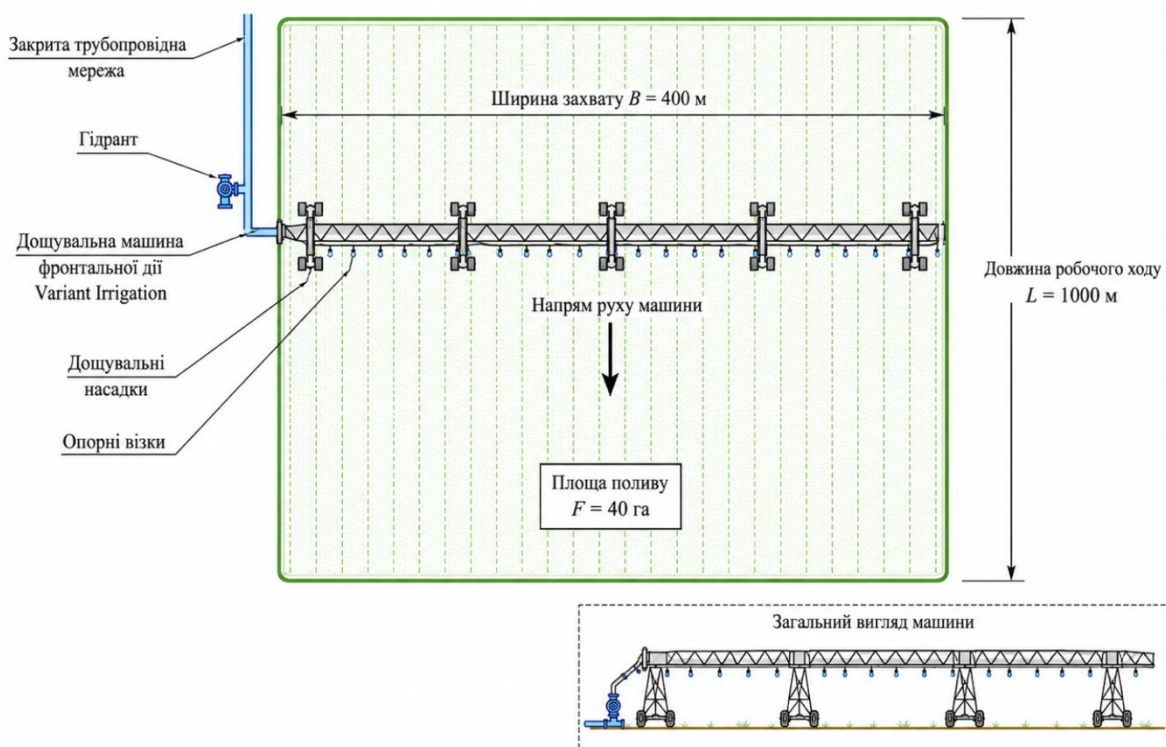


Рисунок 3.1 - Схема дощувальної машини Variant Irrigation

Керування машиною здійснюється за допомогою електричної системи, яка забезпечує синхронну роботу опорних візків, контроль руху, запуск і зупинку машини, регулювання швидкості переміщення та захист від аварійних ситуацій. Виробник Variant Irrigation також зазначає можливість дистанційного керування однією або кількома машинами, запуску й зупинки поливу та контролю параметрів роботи за допомогою програмного забезпечення.

Перевагою фронтальної машини є висока рівномірність поливу. Завдяки поступальному руху вздовж поля машина забезпечує однакові умови зволоження по всій довжині ділянки. Це особливо важливо для культур, які чутливо реагують на нестачу вологи у критичні фази розвитку, зокрема кукурудзи, сої, люцерни та кукурудзи на силос. Рівномірність поливу сприяє вирівняності посівів, кращому засвоєнню добрив і формуванню стабільного врожаю.

Фронтальні машини ефективно використовують площу прямокутних полів. За загальними характеристиками лінійних систем, вони особливо придатні для квадратних і прямокутних ділянок та можуть зрошувати більшу частину такої площі порівняно з круговими системами. У відкритих матеріалах щодо лінійного зрошення зазначено, що такі системи особливо добре підходять для прямокутних або квадратних полів і рухаються прямолінійно вздовж поля, подаючи воду через основний трубопровід машини.

З технічної точки зору машина Variant Irrigation повинна працювати в комплексі з насосною станцією та закритою трубопровідною мережею. Насосна станція забезпечує необхідну витрату й напір, а трубопровідна мережа подає воду до гідрантів уздовж поля. Для стабільної роботи машини необхідно, щоб тиск у точці підключення був достатнім для нормальної роботи дощувальних насадок з урахуванням втрат напору в трубопроводах, місцевих опорах, гнучкому шлангу та самій машині.

Експлуатація фронтальної дощувальної машини потребує дотримання певних умов. Перед початком роботи необхідно перевірити стан водопровідного трубопроводу, опорних візків, електроприводів, дощувальних насадок, системи керування, гнучких шлангів і запірної арматури. Під час поливу необхідно контролювати тиск, рівномірність руху машини, якість розпилення води та відсутність витоків. Після завершення поливного сезону система повинна бути підготовлена до зберігання, а трубопроводи — спорожнені від води.

Для умов ФГ «Алгоритм» прийнята фронтальна дощувальна машина Variant Irrigation забезпечує відповідність між потребою культур у воді, розмірами зрошуваної ділянки та технічними можливостями зрошувальної системи. Її параметри дозволяють проводити поливи з нормами 300–500 м³/га, які були розраховані для культур запроєктованої сівозміни. Завдяки регульованій швидкості руху машина може адаптуватися до різних культур і різних строків поливу.

Отже, у проєкті приймається дощувальна машина фронтальної дії Variant Irrigation з робочою шириною захвату 400 м, довжиною робочого ходу 1000 м, площею поливу за один прохід 40 га, витратою води 55 л/с та робочим тиском на вході 0,35–0,45 МПа. Машина забезпечує полив польових культур способом дощування, має регульовану швидкість руху, працює від закритої трубопровідної мережі через гідранти та відповідає умовам вирощування сільськогосподарських культур у ФГ «Алгоритм». Прийняті технічні параметри використовуються в подальших розрахунках продуктивності дощувальних машин, графіка поливів і параметрів зрошувальної мережі.

3.6 Розрахунок продуктивності дощувальних машин

Розрахунок продуктивності дощувальних машин необхідний для визначення тривалості поливу однієї ділянки, швидкості руху машини, добової площі поливу, кількості поливних позицій і можливості своєчасного виконання графіка зрошення. Продуктивність дощувальної машини залежить від її витрати води, ширини захвату, довжини робочого ходу, прийнятої поливної норми, тривалості роботи протягом доби та коефіцієнта використання робочого часу [6], [7], [18].

У проєкті для ФГ «Алгоритм» прийнято використання дощувальної машини фронтальної дії Variant Irrigation. Відповідно до прийнятих у підрозділі 3.5 проєктних параметрів, машина має такі основні характеристики:

ширина захвату машини — $B = 400$ м;

довжина робочого ходу — $L = 1000$ м;

площа поливу за один прохід — $F = 40$ га;

витрата води машини — $Q = 55$ л/с;

витрата води машини — $Q = 198$ м³/год;

поливні норми для культур — 300–500 м³/га.

Площа, яку машина зрошує за один повний прохід, визначається за формулою:

$$F = B \cdot L / 10000,$$

де F — площа поливу за один прохід, га;

B — ширина захвату машини, м;

L — довжина робочого ходу машини, м.

Підставляємо прийняті значення:

$$F = 400 \cdot 1000 / 10000 = 40 \text{ га.}$$

Отже, одна дощувальна машина фронтальної дії Variant Irrigation за один повний прохід зрошує площу 40 га.

Витрата води машини в м³/год визначається за формулою:

$$Q_{\text{год}} = Q \cdot 3,6,$$

де $Q_{\text{год}}$ — витрата води, м³/год;

Q — витрата води, л/с.

$$Q_{\text{год}} = 55 \cdot 3,6 = 198 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Отже, за одну годину роботи машина подає на поле 198 м³ води.

Тривалість одного повного проходу машини залежить від поливної норми. Вона визначається за формулою:

$$t = F \cdot m / Q_{\text{год}},$$

де t — тривалість поливу ділянки за один прохід, год;

F — площа поливу за один прохід, га;

m — поливна норма, м³/га;

$Q_{\text{год}}$ — витрата води машини, м³/год.

Для культур запроєктованої сівозміни поливні норми становлять від 300 до 500 м³/га, тому тривалість проходу машини буде різною.

Для ярого ячменю з поливною нормою 300 м³/га:

$$t = 40 \cdot 300 / 198 = 60,6 \text{ год}.$$

Для озимої пшениці з поливною нормою 340 м³/га:

$$t = 40 \cdot 340 / 198 = 68,7 \text{ год}.$$

Для соняшнику з поливною нормою 350 м³/га:

$$t = 40 \cdot 350 / 198 = 70,7 \text{ год}.$$

Для сої з поливною нормою 400 м³/га:

$$t = 40 \cdot 400 / 198 = 80,8 \text{ год}.$$

Для кукурудзи на зерно, люцерни та кукурудзи на силос з поливною нормою 500 м³/га:

$$t = 40 \cdot 500 / 198 = 101,0 \text{ год}.$$

Результати розрахунку тривалості проходу дощувальної машини наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 — Тривалість одного проходу дощувальної машини
Variant Irrigation залежно від поливної норми

Культура	Площа поливу за один прохід, га	Полівна норма, м³/га	Витрата машини, м³/год	Тривалість одного проходу, год
Ярий ячмінь	40	300	198	60,6
Озима пшениця	40	340	198	68,7
Соняшник	40	350	198	70,7
Соя	40	400	198	80,8
Кукурудза на зерно	40	500	198	101,0
Люцерна	40	500	198	101,0
Кукурудза на силос	40	500	198	101,0

З таблиці видно, що зі збільшенням поливної норми тривалість одного проходу машини зростає. Найменша тривалість проходу спостерігається при поливі ярого ячменю — 60,6 год, а найбільша — при поливі кукурудзи на зерно, люцерни та кукурудзи на силос — 101,0 год. Це пояснюється тим, що ці культури мають більшу потребу у воді та вищу поливну норму.

Швидкість руху дощувальної машини визначається за формулою:

$$v = L / t,$$

де v — швидкість руху машини, м/год;

L — довжина робочого ходу, м;

t — тривалість одного проходу, год.

Для ярого ячменю:

$$v = 1000 / 60,6 = 16,5 \text{ м/год.}$$

Для озимої пшениці:

$$v = 1000 / 68,7 = 14,6 \text{ м/год.}$$

Для соняшнику:

$$v = 1000 / 70,7 = 14,1 \text{ м/год.}$$

Для сої:

$$v = 1000 / 80,8 = 12,4 \text{ м/год.}$$

Для кукурудзи на зерно, люцерни та кукурудзи на силос:

$$v = 1000 / 101,0 = 9,9 \text{ м/год.}$$

Результати розрахунку швидкості руху машини наведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 — Швидкість руху дощувальної машини Variant Irrigation при різних поливних нормах

Культура	Полівна норма, м³/га	Тривалість проходу, год	Довжина робочого ходу, м	Швидкість руху, м/год
Ярий ячмінь	300	60,6	1000	16,5
Озима пшениця	340	68,7	1000	14,6
Соняшник	350	70,7	1000	14,1
Соя	400	80,8	1000	12,4
Кукурудза на зерно	500	101,0	1000	9,9
Люцерна	500	101,0	1000	9,9
Кукурудза на силос	500	101,0	1000	9,9

Отримані значення показують, що швидкість руху машини регулюється залежно від потрібної поливної норми. Для меншої поливної норми машина рухається швидше, а для більшої — повільніше. Це дозволяє однією і тією самою машиною виконувати поливи різних культур із різними нормами подачі води.

Добова продуктивність дощувальної машини визначається площею, яку машина може полити за добу. Для розрахунку приймаємо тривалість роботи машини протягом доби $T_{\text{доб}} = 20$ год, оскільки частина часу витрачається на технічне обслуговування, перевірку обладнання, переміщення, підключення та можливі технологічні перерви.

Добова продуктивність визначається за формулою:

$$W_{\text{доб}} = Q_{\text{год}} \cdot T_{\text{доб}} / m,$$

де $W_{\text{доб}}$ — добова продуктивність машини, га/добу;

$Q_{\text{год}}$ — витрата води машини, $\text{м}^3/\text{год}$;

$T_{\text{доб}}$ — тривалість роботи машини за добу, год;

m — поливна норма, $\text{м}^3/\text{га}$.

Для ярого ячменю:

$$W_{\text{доб}} = 198 \cdot 20 / 300 = 13,2 \text{ га/добу.}$$

Для озимої пшениці:

$$W_{\text{доб}} = 198 \cdot 20 / 340 = 11,6 \text{ га/добу.}$$

Для соняшнику:

$$W_{\text{доб}} = 198 \cdot 20 / 350 = 11,3 \text{ га/добу.}$$

Для сої:

$$W_{\text{доб}} = 198 \cdot 20 / 400 = 9,9 \text{ га/добу.}$$

Для кукурудзи на зерно, люцерни та кукурудзи на силос:

$$W_{\text{доб}} = 198 \cdot 20 / 500 = 7,9 \text{ га/добу.}$$

Результати розрахунку добової продуктивності наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 — Добова продуктивність дощувальної машини Variant Irrigation

Культура	Полівна норма, $\text{м}^3/\text{га}$	Витрата машини, $\text{м}^3/\text{год}$	Тривалість роботи за добу, год	Добова продуктивність, га/добу
Ярий ячмінь	300	198	20	13,2
Озима пшениця	340	198	20	11,6
Соняшник	350	198	20	11,3
Соя	400	198	20	9,9
Кукурудза на зерно	500	198	20	7,9
Люцерна	500	198	20	7,9
Кукурудза на силос	500	198	20	7,9

З таблиці видно, що добова продуктивність машини залежить від поливної норми. Найбільша продуктивність забезпечується при поливі

ярого ячменю з нормою 300 м³/га — 13,2 га/добу. Найменша продуктивність спостерігається при поливі культур із нормою 500 м³/га — 7,9 га/добу. Це є закономірним, оскільки при більшій нормі на кожен гектар потрібно подати більший об'єм води, а отже, за добу машина може полити меншу площу.

Тривалість поливу одного поля площею 40 га у добах визначається за формулою:

$$T = F / W_{\text{доб}},$$

де T — тривалість поливу поля, діб;

F — площа поля, га;

$W_{\text{доб}}$ — добова продуктивність машини, га/добу.

Для ярого ячменю:

$$T = 40 / 13,2 = 3,0 \text{ доби.}$$

Для озимої пшениці:

$$T = 40 / 11,6 = 3,4 \text{ доби.}$$

Для соняшнику:

$$T = 40 / 11,3 = 3,5 \text{ доби.}$$

Для сої:

$$T = 40 / 9,9 = 4,0 \text{ доби.}$$

Для кукурудзи на зерно, люцерни та кукурудзи на силос:

$$T = 40 / 7,9 = 5,1 \text{ доби.}$$

Таблиця 3.13 — Тривалість поливу поля площею 40 га

Культура	Площа поля, га	Добова продуктивність, га/добу	Тривалість поливу поля, діб
Ярий ячмінь	40	13,2	3,0
Озима пшениця	40	11,6	3,4
Соняшник	40	11,3	3,5
Соя	40	9,9	4,0
Кукурудза на зерно	40	7,9	5,1
Люцерна	40	7,9	5,1
Кукурудза на силос	40	7,9	5,1

Для подальшого планування графіка поливів необхідно врахувати кількість поливів за вегетаційний період. У підрозділі 3.3 було прийнято, що для озимої пшениці проводиться 3 поливи, для ярого ячменю — 2, для кукурудзи на зерно — 5, для сої — 4, для соняшнику — 3, для люцерни — 5, для кукурудзи на силос — 4.

Загальна тривалість роботи машини за сезон на одному полі площею 40 га визначається як добуток тривалості одного поливу на кількість поливів:

$$T_{\text{сез}} = T \cdot n,$$

де $T_{\text{сез}}$ — сезонна тривалість роботи машини на полі, діб;

T — тривалість одного поливу поля, діб;

n — кількість поливів.

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 — Сезонна тривалість роботи дощувальної машини на одному полі площею 40 га

Культура	Кількість поливів	Тривалість одного поливу, діб	Сезонна тривалість роботи, діб
Озима пшениця	3	3,4	10,2
Ярий ячмінь	2	3,0	6,0
Кукурудза на зерно	5	5,1	25,5
Соя	4	4,0	16,0
Соняшник	3	3,5	10,5
Люцерна	5	5,1	25,5
Кукурудза на силос	4	5,1	20,4

Найбільша сезонна тривалість роботи машини припадає на кукурудзу на зерно та люцерну — 25,5 діб на полі площею 40 га. Це пояснюється високою поливною нормою та значною кількістю поливів за сезон. Для кукурудзи на силос сезонна тривалість роботи становить 20,4 доби, для сої — 16,0 діб, для озимої пшениці — 10,2 доби, для соняшнику — 10,5 доби, для ярого ячменю — 6,0 діб.

Для оцінки сезонного обсягу води, який подається однією машиною на поле площею 40 га, використовується формула:

$$V = M \cdot F,$$

де V — обсяг води за сезон, м^3 ;

M — зрошувальна норма нетто, $\text{м}^3/\text{га}$;

F — площа поля, га.

Для озимої пшениці:

$$V = 1020 \cdot 40 = 40800 \text{ м}^3.$$

Для ярого ячменю:

$$V = 600 \cdot 40 = 24000 \text{ м}^3.$$

Для кукурудзи на зерно:

$$V = 2500 \cdot 40 = 100000 \text{ м}^3.$$

Для сої:

$$V = 1600 \cdot 40 = 64000 \text{ м}^3.$$

Для соняшнику:

$$V = 1050 \cdot 40 = 42000 \text{ м}^3.$$

Для люцерни:

$$V = 2500 \cdot 40 = 100000 \text{ м}^3.$$

Для кукурудзи на силос:

$$V = 2000 \cdot 40 = 80000 \text{ м}^3.$$

Таблиця 3.15 — Сезонний обсяг води для поливу одного поля площею 40 га

Культура	Зрошувальна норма нетто, м ³ /га	Площа поля, га	Сезонний обсяг води, м ³
Озима пшениця	1020	40	40800
Ярий ячмінь	600	40	24000
Кукурудза на зерно	2500	40	100000
Соя	1600	40	64000
Соняшник	1050	40	42000
Люцерна	2500	40	100000
Кукурудза на силос	2000	40	80000

Для врахування втрат води в системі визначається сезонний обсяг води бруто. При коефіцієнті корисної дії системи $\eta = 0,90$:

$$V_{\text{бр}} = V_{\text{нетто}} / \eta.$$

Для озимої пшениці:

$$V_{\text{бр}} = 40800 / 0,90 = 45333 \text{ м}^3.$$

Для ярого ячменю:

$$V_{\text{бр}} = 24000 / 0,90 = 26667 \text{ м}^3.$$

Для кукурудзи на зерно:

$$V_{\text{бр}} = 100000 / 0,90 = 111111 \text{ м}^3.$$

Для сої:

$$V_{бр} = 64000 / 0,90 = 71111 \text{ м}^3.$$

Для соняшнику:

$$V_{бр} = 42000 / 0,90 = 46667 \text{ м}^3.$$

Для люцерни:

$$V_{бр} = 100000 / 0,90 = 111111 \text{ м}^3.$$

Для кукурудзи на силос:

$$V_{бр} = 80000 / 0,90 = 88889 \text{ м}^3.$$

Таблиця 3.16 — Сезонний обсяг води бруто для одного поля площею 40 га

Культура	Сезонний обсяг води нетто, м ³	ККД системи	Сезонний обсяг води бруто, м ³
Озима пшениця	40800	0,90	45333
Ярий ячмінь	24000	0,90	26667
Кукурудза на зерно	100000	0,90	111111
Соя	64000	0,90	71111
Соняшник	42000	0,90	46667
Люцерна	100000	0,90	111111
Кукурудза на силос	80000	0,90	88889

Отримані результати показують, що продуктивність однієї дощувальної машини Variant Irrigation дозволяє виконувати поливи на полі площею 40 га у строки, які відповідають біологічним потребам культур. Однак для всієї зрошуваної площі господарства кількість машин визначається залежно від загальної площі поливу, графіка поливів, максимально допустимої тривалості міжполивного періоду та кількості одночасно працюючих машин.

Кількість дощувальних машин визначається за формулою:

$$N = F_{заг} / F_m,$$

де N — кількість дощувальних машин;

$F_{\text{заг}}$ — загальна площа зрошення, га;

F_m — площа, що обслуговується однією машиною, га.

Оскільки одна машина обслуговує поле площею 40 га, кількість машин для загальної площі зрошення визначається після остаточного встановлення площі зрошуваного масиву. У подальших розрахунках проєкту кількість машин приймається відповідно до розміщення полів на плані зрошуваної ділянки та графіка поливів.

Отже, продуктивність дощувальної машини фронтальної дії Variant Irrigation залежить від прийнятої поливної норми. При витраті води 55 л/с, або 198 м³/год, одна машина за один прохід зрошує поле площею 40 га. Тривалість одного проходу становить від 60,6 год при нормі 300 м³/га до 101,0 год при нормі 500 м³/га. Добова продуктивність машини змінюється від 13,2 га/добу до 7,9 га/добу. Отримані показники використовуються для подальшого складання графіка поливу запроєктованої сівозміни, визначення навантаження на насосну станцію та розрахунку параметрів зрошувальної мережі.

3.7 Побудова графіка поливів запроєктованої сівозміни

Побудова графіка поливів є завершальним етапом розрахунку режиму зрошення сільськогосподарських культур. Графік поливів дає можливість установити строки проведення поливів, визначити навантаження на дощувальні машини, насосну станцію та зрошувальну мережу, а також забезпечити своєчасне подавання води культурам у критичні періоди їх росту й розвитку. У наданому зразку кваліфікаційної роботи графік поливів також передбачений як складова розділу з розрахунку режиму зрошення та техніки поливу сільськогосподарських культур.

Для побудови графіка поливів запроєктованої сівозміни використовуються дані, визначені в попередніх підрозділах: структура посівних площ, поливні норми, кількість поливів, строки їх проведення та продуктивність дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Графік складається для розрахункового посушливого року **75 % забезпеченості**, оскільки саме в таких умовах потреба культур у зрошенні є найбільш вираженою.

У запроєктованій сівозміні ФГ «Алгоритм» прийнято вирощування таких культур: озимої пшениці, ярого ячменю, кукурудзи на зерно, сої, соняшнику, люцерни та кукурудзи на силос. Для побудови графіка поливів приймається умовна площа сівозміни 100 га, що дозволяє зручно показати розподіл поливної води між культурами відповідно до прийнятої структури посівів. Надалі при визначенні загальної потреби у воді ці розрахунки можуть бути перераховані на фактичну площу зрошуваного масиву.

Структура посівних площ для побудови графіка поливів приймається такою: озима пшениця — 25 га, кукурудза на зерно — 20 га, ярий ячмінь — 10 га, соя — 15 га, соняшник — 20 га, кормові культури — 10 га. У складі кормових культур приймається: люцерна — 5 га, кукурудза на силос — 5 га. Загальна площа становить 100 га.

Таблиця 3.17 — Вихідні дані для побудови графіка поливів запроєктованої сівозміни

Культура	Площа, га	Полівна норма, м³/га	Кількість поливів	Зрошувальна норма нетто, м³/га
Озима пшениця	25	340	3	1020
Кукурудза на зерно	20	500	5	2500
Ярий ячмінь	10	300	2	600
Соя	15	400	4	1600
Соняшник	20	350	3	1050

Люцерна	5	500	5	2500
Кукурудза на силос	5	500	4	2000
Разом	100	—	—	—

Загальна потреба кожної культури у воді за сезон визначається за формулою:

$$V = F \cdot M,$$

де V — сезонний об'єм води, м^3 ;

F — площа культури, га;

M — зрошувальна норма нетто, $\text{м}^3/\text{га}$.

Для озимої пшениці:

$$V = 25 \cdot 1020 = 25500 \text{ м}^3.$$

Для кукурудзи на зерно:

$$V = 20 \cdot 2500 = 50000 \text{ м}^3.$$

Для ярого ячменю:

$$V = 10 \cdot 600 = 6000 \text{ м}^3.$$

Для сої:

$$V = 15 \cdot 1600 = 24000 \text{ м}^3.$$

Для соняшнику:

$$V = 20 \cdot 1050 = 21000 \text{ м}^3.$$

Для люцерни:

$$V = 5 \cdot 2500 = 12500 \text{ м}^3.$$

Для кукурудзи на силос:

$$V = 5 \cdot 2000 = 10000 \text{ м}^3.$$

Загальна потреба у зрошувальній воді нетто для запроєктованої сівозміни площею 100 га становить:

$$V_{\text{заг}} = 25500 + 50000 + 6000 + 24000 + 21000 + 12500 + 10000 = 149000 \text{ м}^3.$$

Отже, середньозважена зрошувальна норма нетто становить:

$$M_{\text{ср}} = 149000 / 100 = 1490 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Це значення відповідає раніше визначеній середньозваженій зрошувальній нормі для запроєктованої структури посівів.

Графік поливів складається з урахуванням критичних періодів водоспоживання культур. Основна кількість поливів припадає на червень, липень і серпень, коли в районі проєктування спостерігаються найвищі температури повітря, найбільша випаровуваність і найменша забезпеченість ґрунту продуктивною вологою.

Таблиця 3.18 — Календарний графік поливів запроєктованої сівозміни

Культура	Травень	Червень	Липень	Серпень	Кількість поливів
Озима пшениця	1 полив	2 поливи	—	—	3
Ярий ячмінь	1 полив	1 полив	—	—	2
Кукурудза на зерно	—	1 полив	3 поливи	1 полив	5
Соя	—	1 полив	2 поливи	1 полив	4
Соняшник	—	1 полив	1 полив	1 полив	3
Люцерна	1 полив	2 поливи	1 полив	1 полив	5
Кукурудза на силос	—	1 полив	2 поливи	1 полив	4

З таблиці видно, що в травні поливи проводяться переважно для озимої пшениці, ярого ячменю та люцерни. У червні починається активний полив більшості культур сівозміни. Найбільше навантаження на систему припадає на липень, коли поливаються кукурудза на зерно, соя, соняшник, люцерна та кукурудза на силос. У серпні поливи продовжуються для культур із тривалішим періодом вегетації.

Для визначення навантаження на зрошувальну систему складається розподіл об'ємів поливної води за місяцями. Об'єм води за кожним місяцем визначається як добуток площі культури, поливної норми та кількості поливів у цьому місяці.

Таблиця 3.19 — Розподіл зрошувальної води за місяцями, м³

Культура	Площа, га	Поливна норма, м ³ /га	Травень	Червень	Липень	Серпень	За сезон
Озима пшениця	25	340	8500	17000	—	—	25500
Ярий ячмінь	10	300	3000	3000	—	—	6000
Кукурудза на зерно	20	500	—	10000	30000	10000	50000
Соя	15	400	—	6000	12000	6000	24000
Соняшник	20	350	—	7000	7000	7000	21000
Люцерна	5	500	2500	5000	2500	2500	12500
Кукурудза на силос	5	500	—	2500	5000	2500	10000
Разом	100	—	14000	50500	56500	28000	149000

За даними таблиці 3.19 найбільший обсяг зрошувальної води необхідно подати в липні — 56500 м³. Це пояснюється тим, що саме в липні більшість культур проходить критичні фази водоспоживання. У червні потреба у воді становить 50500 м³, у серпні — 28000 м³, у травні — 14000 м³.

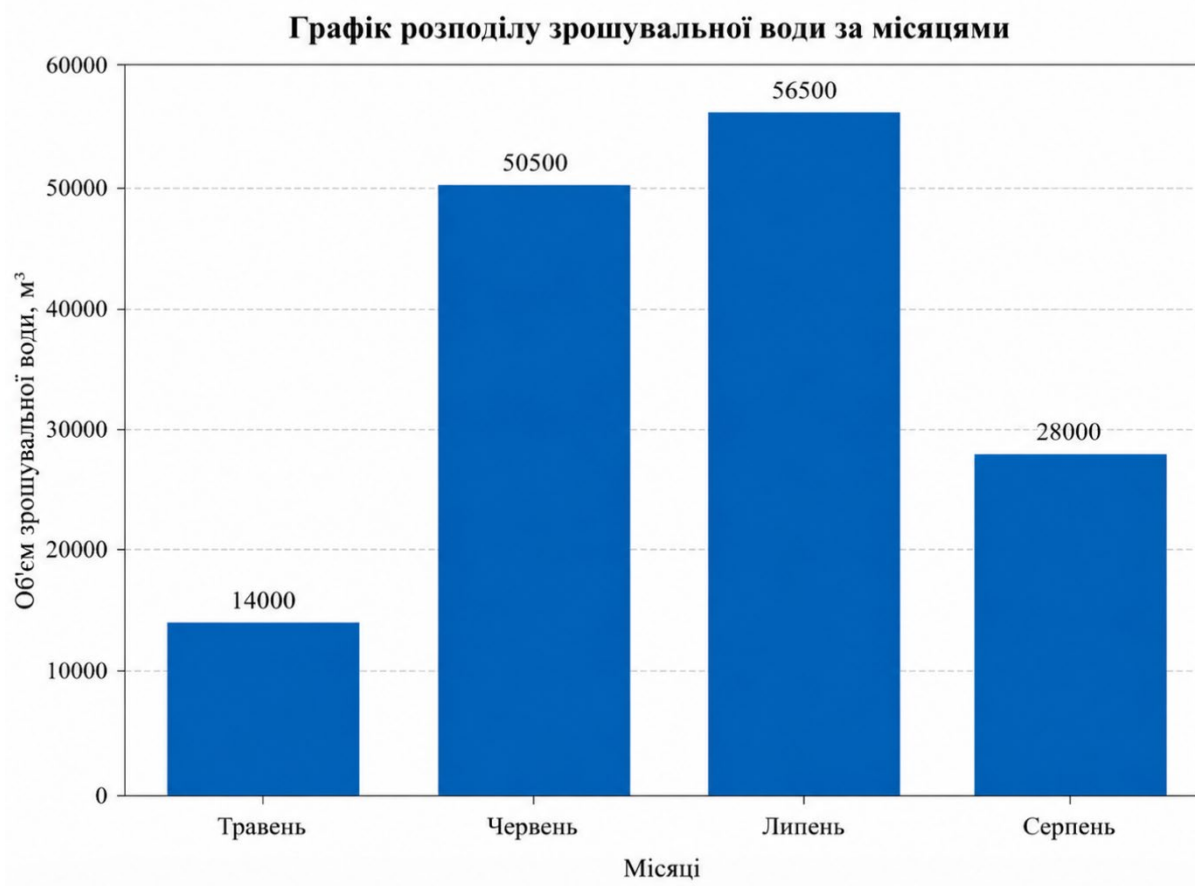


Рисунок 3.2 – Графік розподілу зрошувальної води за місяцями

Характер графіка свідчить про нерівномірний розподіл потреби у воді протягом вегетаційного періоду. Найбільш напруженим періодом роботи зрошувальної системи є червень–липень. Саме в цей час необхідно забезпечити безперебійну роботу насосної станції, закритої трубопровідної мережі та дощувальних машин Variant Irrigation.

Для оцінки середньомісячного навантаження на систему визначається середньомісячна витрата води за формулою:

$$Q_M = V_M \cdot 1000 / (t \cdot 86400),$$

де Q_M — середньомісячна витрата води, л/с;

V_M — місячний об'єм зрошувальної води, м³;

t — кількість днів у місяці;

86400 — кількість секунд у добі.

Для травня:

$$Q_m = 14000 \cdot 1000 / (31 \cdot 86400) = 5,2 \text{ л/с.}$$

Для червня:

$$Q_m = 50500 \cdot 1000 / (30 \cdot 86400) = 19,5 \text{ л/с.}$$

Для липня:

$$Q_m = 56500 \cdot 1000 / (31 \cdot 86400) = 21,1 \text{ л/с.}$$

Для серпня:

$$Q_m = 28000 \cdot 1000 / (31 \cdot 86400) = 10,5 \text{ л/с.}$$

Результати розрахунку середньомісячної витрати води наведено в таблиці 3.20.

Таблиця 3.20 — Середньомісячне навантаження на зрошувальну систему

Місяць	Об'єм зрошувальної води, м³	Кількість діб	Середньомісячна витрата, л/с
Травень	14000	31	5,2
Червень	50500	30	19,5
Липень	56500	31	21,1
Серпень	28000	31	10,5
Разом	149000	—	—

Середньомісячні витрати не є розрахунковими максимальними витратами для підбору насосної станції, оскільки фактична подача води відбувається нерівномірно — у конкретні строки поливів. Для гідравлічного розрахунку мережі та підбору насосного обладнання вирішальне значення має витрата одночасно працюючих дощувальних машин. Оскільки витрата однієї машини Variant Irrigation прийнята 55 л/с, розрахункова витрата системи залежатиме від кількості машин, які працюють одночасно.

Для побудови графіка поливів також важливо врахувати тривалість роботи однієї машини. У підрозділі 3.6 було встановлено, що залежно від

поливної норми тривалість поливу одного поля площею 40 га становить від 3,0 до 5,1 доби. Це означає, що при плануванні поливів необхідно забезпечити таке чергування культур і поливних ділянок, щоб машина не простоювала в період найбільшої потреби у воді, а поливи проводилися у встановлені агротехнічні строки.

У період максимального навантаження, тобто в липні, дощувальні машини повинні працювати практично безперервно. Для зменшення втрат води на випаровування та знесення крапель вітром поливи рекомендується проводити переважно у вечірні, нічні та ранкові години. У денні години при високій температурі повітря та сильному вітрі ефективність дощування знижується, тому такі періоди бажано використовувати для огляду обладнання, технічного обслуговування або переміщення машин.

Графік поливів повинен бути гнучким. У разі випадання значних атмосферних опадів окремі поливи можуть переноситися або скасовуватися, якщо запаси продуктивної вологи в ґрунті є достатніми. У посушливі періоди, навпаки, міжполивні строки можуть скорочуватися. Однак для проєктного розрахунку приймається графік, складений для року 75 % забезпеченості, що дозволяє забезпечити надійність системи в умовах дефіциту природного зволоження [1], [7], [22].

Для подальших розрахунків зрошувальної мережі приймається, що основний період роботи системи триває з травня по серпень. Найбільше навантаження припадає на червень і липень, коли сумарний об'єм зрошувальної води становить:

$$V_{\text{червень}} + V_{\text{липень}} = 50500 + 56500 = 107000 \text{ м}^3.$$

Це становить:

$$107000 / 149000 \cdot 100 = 71,8 \text{ \%}.$$

Отже, майже 72 % усієї сезонної зрошувальної води подається в червні та липні. Це підтверджує необхідність забезпечення максимальної

готовності насосної станції, трубопровідної мережі та дощувальних машин саме в цей період.

Загальний об'єм зрошувальної води брутто для площі 100 га визначається з урахуванням коефіцієнта корисної дії системи:

$$V_{\text{брутто}} = V_{\text{нетто}} / \eta,$$

де $\eta = 0,90$ — коефіцієнт корисної дії системи.

$$V_{\text{брутто}} = 149000 / 0,90 = 165556 \text{ м}^3.$$

Отже, для забезпечення запроєктованого режиму зрошення на площі 100 га необхідно забрати з джерела зрошення 165556 м^3 води за сезон. Це значення використовується при подальших розрахунках водоспоживання, витрати насосної станції та економічної ефективності системи.

Таблиця 3.21 — Сезонна потреба у зрошувальній воді для сівозміни площею 100 га

Показник	Одиниця виміру	Значення
Площа сівозміни	га	100
Сезонний об'єм води нетто	м^3	149000
Середньозважена зрошувальна норма нетто	$\text{м}^3/\text{га}$	1490
Коефіцієнт корисної дії системи	—	0,90
Сезонний об'єм води брутто	м^3	165556
Середньозважена зрошувальна норма брутто	$\text{м}^3/\text{га}$	1656

Отже, побудований графік поливів показує, що потреба у зрошувальній воді протягом вегетаційного періоду розподіляється нерівномірно. Найбільший обсяг води необхідно подати в липні — 56500 м^3 , а також у червні — 50500 м^3 . Загальна сезонна потреба у воді для

запроектованої сівозміни площею 100 га становить 149000 м³ нетто або 165556 м³ брутто. Побудований графік є основою для подальшого визначення розрахункової витрати зрошувальної мережі, кількості одночасно працюючих дощувальних машин, навантаження на насосну станцію та параметрів трубопроводів.

4. ПРОЄКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Проектування зрошувальної мережі є одним із основних етапів розробки системи зрошення. Від правильності вибору конструкції мережі, трасування трубопроводів, розміщення гідрантів, насосної станції, запірної та регулювальної арматури залежить надійність роботи системи, рівномірність подачі води до дощувальних машин, енергоефективність і економічна доцільність проєкту. Зрошувальна мережа повинна забезпечувати своєчасне транспортування необхідної кількості води від джерела зрошення до поливної техніки з мінімальними втратами напору та води [1], [7], [22].

Для фермерського господарства «Алгоритм» проєктується система дощувального зрошення з використанням дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Джерелом зрошення прийнято поверхневе водне джерело басейну річки Оріль. Вода від джерела подається на зрошуваний масив за допомогою насосної станції та закритої трубопровідної мережі. Така схема відповідає умовам роботи сучасних широкозахватних дощувальних машин, забезпечує стабільну подачу води, зменшує втрати на фільтрацію і випаровування та дозволяє раціонально використовувати водні ресурси [6], [16], [18].

Основним завданням цього розділу є визначення конструкції зрошувальної мережі, розрахунок витрат води, підбір діаметрів трубопроводів, визначення втрат напору, обґрунтування насосного обладнання та розміщення основних гідротехнічних споруд. Розрахунки виконуються з урахуванням прийнятої структури посівних площ, графіка поливів, продуктивності дощувальних машин та режиму роботи системи.

4.1 Визначення конструкції зрошувальної мережі

Конструкція зрошувальної мережі визначається способом поливу, джерелом зрошення, розміщенням зрошуваного масиву, рельєфом території, площею поливу, типом дощувальних машин і вимогами до подачі води. Для ФГ «Алгоритм» приймається замкнута трубопровідна зрошувальна мережа, яка забезпечує транспортування води від насосної станції до дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation.

Замкнута трубопровідна мережа має низку переваг порівняно з відкритими каналами. Вона зменшує втрати води на фільтрацію та випаровування, не займає значної площі сільськогосподарських угідь, не перешкоджає руху техніки, має вищий коефіцієнт корисної дії та забезпечує стабільніший гідравлічний режим. Крім того, така мережа є більш придатною для роботи сучасних дощувальних машин, які потребують певного напору і витрати води в точці підключення [1], [7].

Для проєктованої системи приймається така загальна схема подачі води: джерело зрошення — насосна станція — магістральний трубопровід — розподільчі трубопроводи — гідранти — дощувальні машини фронтальної дії Variant Irrigation.

Джерелом зрошення прийнято річку Оріль або водний об'єкт її басейну. Поблизу джерела розміщується насосна станція, яка забезпечує забір води та створення необхідного напору для її подачі в замкнуту мережу. Від насосної станції вода надходить у магістральний трубопровід, далі — у розподільчі трубопроводи, прокладені вздовж зрошуваних полів. На розподільчих трубопроводах встановлюються гідранти або водовипуски, через які вода подається до дощувальних машин.

Зрошуваний масив приймається у вигляді прямокутних або близьких до прямокутних польових ділянок, що відповідає умовам роботи фронтальних дощувальних машин. У попередніх розрахунках прийнято, що

одна машина Variant Irrigation має ширину захвату 400 м і довжину робочого ходу 1000 м, тобто за один повний прохід зрошує площу:

$$F = B \cdot L / 10000 = 400 \cdot 1000 / 10000 = 40 \text{ га.}$$

Отже, основною проєктною поливною ділянкою приймається поле площею 40 га. Для сівозміни площею 100 га передбачається розміщення кількох поливних ділянок, які обслуговуються дощувальними машинами фронтальної дії відповідно до графіка поливів.

Для забезпечення рівномірної подачі води до машин Variant Irrigation розподільчі трубопроводи прокладаються вздовж довгих сторін полів або вздовж лінії руху машини з розміщенням гідрантів через певні інтервали. Відстань між гідрантами приймається з урахуванням довжини робочого ходу машини, способу підключення, допустимої довжини гнучкого трубопроводу та зручності експлуатації. Для фронтальних машин, які рухаються вздовж поля, гідранти доцільно розміщувати вздовж траси руху машини або по краю поля.

Конструктивно зрошувальна мережа складається з таких основних елементів:

- водозабірної споруди;
- насосної станції;
- магістрального трубопроводу;
- розподільчих трубопроводів;
- гідрантів або точок підключення дощувальних машин;
- запірної та регулювальної арматури;
- вантузів для випуску повітря;
- споруд для спорожнення трубопроводів;
- оглядових колодязів;
- дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation.

Водозабірна споруда призначена для забору води з джерела зрошення та подачі її до насосної станції. Вона повинна забезпечувати надійну роботу

впродовж усього поливного сезону, захист насосного обладнання від сміття, водної рослинності та завислих часток. Для цього перед насосами передбачаються захисні решітки або фільтрувальні пристрої.

Насосна станція є основним енергетичним елементом системи. Вона забезпечує підняття води з джерела та створення напору, необхідного для транспортування води трубопроводами і роботи дощувальних машин. Напір насосної станції повинен компенсувати геодезичну висоту підйому, втрати напору в магістральному та розподільчих трубопроводах, місцеві втрати в арматурі, а також забезпечувати необхідний робочий тиск на вході в дощувальну машину.

Магістральний трубопровід призначений для подачі води від насосної станції до зрошуваного масиву. Його трасу прокладають із урахуванням рельєфу території, мінімізації довжини, зручності будівництва та експлуатації. Магістральний трубопровід повинен мати достатній діаметр для пропуску розрахункової витрати води при допустимих швидкостях руху води та втратах напору.

Розподільчі трубопроводи подають воду від магістрального трубопроводу до окремих поливних ділянок. Їх розміщують уздовж полів таким чином, щоб забезпечити зручне підключення дощувальних машин і рівномірну подачу води. На розподільчих трубопроводах встановлюються гідранти, через які вода подається до машин Variant Irrigation.

Гідранти є точками підключення дощувальних машин до закритої мережі. Вони повинні розміщуватися у зручних для експлуатації місцях, не перешкоджати руху сільськогосподарської техніки та забезпечувати швидке підключення поливного обладнання. Кількість гідрантів визначається кількістю поливних ділянок, схемою руху машин і прийнятим графіком поливів.

Для забезпечення надійної експлуатації мережі на підвищених ділянках трубопроводів передбачаються вантузи. Вони призначені для

видалення повітря з трубопроводів під час заповнення системи водою та для впуску повітря під час її спорожнення. На понижених ділянках мережі встановлюються споруди для скидання води, які дають можливість спорожнювати трубопроводи після завершення поливного сезону або під час ремонтних робіт [7], [22].

Запірна арматура встановлюється на магістральному і розподільчих трубопроводах для відключення окремих ділянок мережі, регулювання подачі води та забезпечення можливості ремонту. Оглядові колодязі передбачаються в місцях розміщення арматури, вантузів, скидних пристроїв і вузлів підключення.

Для проєктованої системи приймається тупикова або розгалужена тупикова схема закритої зрошувальної мережі. Така схема є простою в будівництві й експлуатації, забезпечує подачу води до кожної поливної ділянки та відповідає умовам роботи фронтальних дощувальних машин. Тупикова схема доцільна для зрошуваних масивів, розташованих відносно компактно та таких, що мають одну основну лінію подачі води від насосної станції.

Загальна конструкція зрошувальної мережі для ФГ «Алгоритм» приймається такою:

Таблиця 4.1 — Основні елементи конструкції зрошувальної мережі

Елемент мережі	Призначення	Проектне рішення
Джерело зрошення	Забезпечення системи водою	Річка Оріль або водний об'єкт її басейну
Водозабірна споруда	Забір води з джерела	Береговий або русловий водозабір із захисними решітками
Насосна станція	Створення необхідної витрати і напору	Механічна подача води в закриту мережу
Магістральний трубопровід	Подача води від насосної станції до масиву	Закритий напірний трубопровід

Розподільчі трубопроводи	Подача води до поливних ділянок	Закриті трубопроводи вздовж полів
Гідранти	Підключення дощувальних машин	Розміщення біля полів у місцях підключення машин
Вантузи	Видалення повітря з мережі	На підвищених точках трубопроводів
Скидні споруди	Спорожнення мережі	На понижених ділянках
Запірна арматура	Регулювання і відключення ділянок	На вузлах мережі та біля гідрантів
Дощувальні машини	Полив культур	Variant Irrigation фронтальної дії

Для будівництва зрошувальної мережі приймаються напірні поліетиленові труби. Поліетиленові труби широко застосовуються в сучасних зрошувальних системах завдяки корозійній стійкості, достатній міцності, відносно невеликій масі, зручності монтажу та тривалому строку експлуатації. Вони забезпечують надійну роботу при напірному режимі та мають менші експлуатаційні витрати порівняно з металевими трубами [7], [25].

Діаметри трубопроводів визначаються в наступних підрозділах на основі розрахункових витрат води, допустимих швидкостей руху води та втрат напору. Для попереднього проектування приймається, що магістральний трубопровід має більший діаметр, оскільки транспортує повну розрахункову витрату системи. Розподільчі трубопроводи мають менші діаметри, які залежать від кількості підключених дощувальних машин і витрати води на окремих ділянках мережі.

При визначенні конструкції мережі необхідно також враховувати рельєф території. Трубопроводи доцільно прокладати з урахуванням природних ухилів, щоб зменшити обсяг земляних робіт і забезпечити можливість спорожнення мережі. На ділянках із підвищенням рельєфу необхідно передбачати вантузи, а на понижених — скидні пристрої. Такий підхід підвищує надійність системи та спрощує її експлуатацію.

Для забезпечення роботи дощувальних машин необхідно, щоб у точках підключення підтримувався робочий тиск 0,35–0,45 МПа, прийнятий для машин Variant Irrigation. Тому при розрахунку мережі потрібно врахувати втрати напору в трубопроводах і місцевих опорах, а також забезпечити достатній напір насосної станції.

На основі прийнятої конструкції зрошувальної мережі складається проєктна схема розміщення її елементів. На схемі доцільно показати джерело зрошення, насосну станцію, магістральний трубопровід, розподільчі трубопроводи, гідранти, поливні ділянки та напрям руху дощувальних машин. Така схема буде використана в подальших розрахунках і може бути оформлена як:

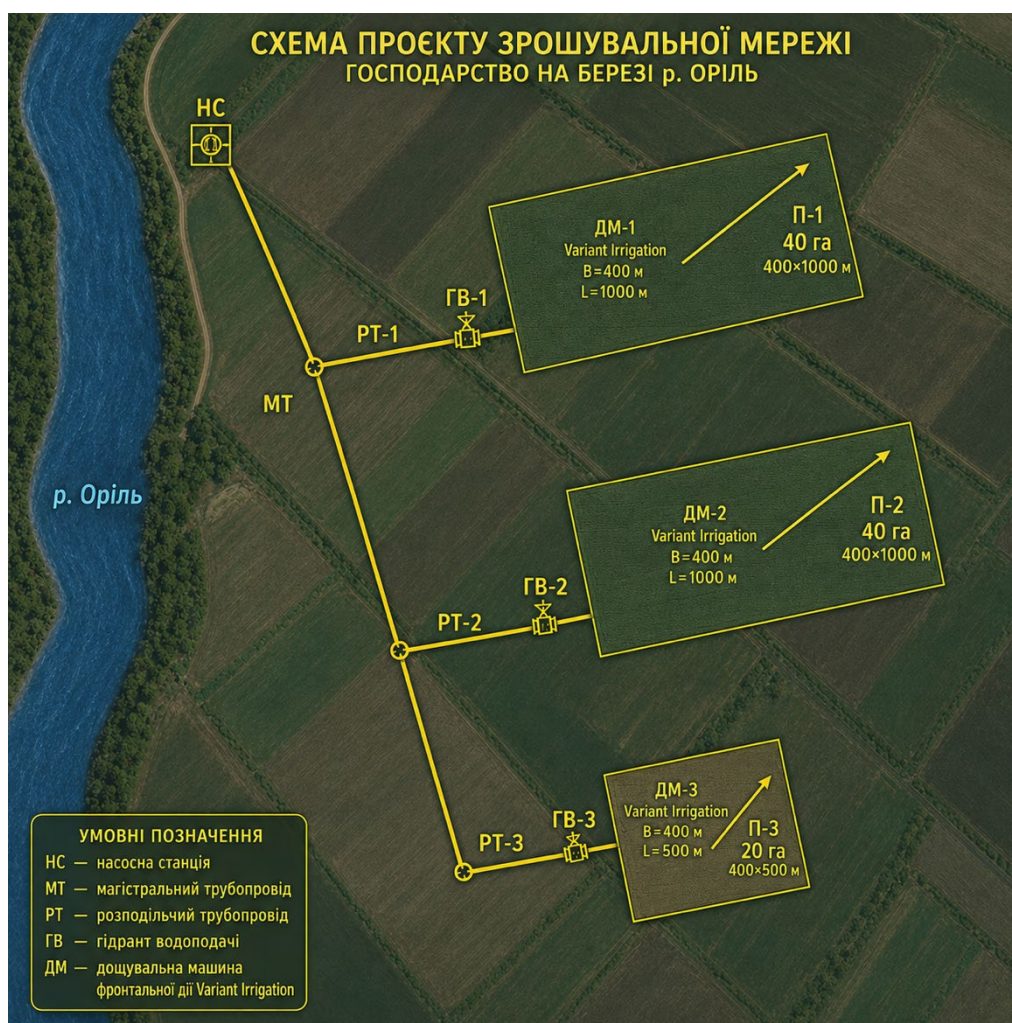


Рисунок 4.1 – Проєктна схема розміщення зрошувальної мережі та дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation

Отже, для ФГ «Алгоритм» приймається замкнута напірна трубопровідна зрошувальна мережа з механічною подачею води від джерела зрошення до дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Така конструкція забезпечує раціональне використання води, мінімальні втрати під час транспортування, можливість створення необхідного напору та зручність експлуатації системи. Прийнята схема є основою для подальшого визначення розрахункових витрат води, гідравлічного розрахунку трубопроводів, підбору насосного обладнання та проектування гідротехнічних споруд на мережі.

4.2 Визначення розрахункових витрат води

Визначення розрахункових витрат води необхідне для подальшого гідравлічного розрахунку трубопроводів, підбору їх діаметрів, визначення витрат напору та вибору насосного обладнання. Розрахункова витрата повинна забезпечувати подачу води до дощувальних машин у найбільш напружений період поливного сезону [1], [7], [22].

У проєкті для ФГ «Алгоритм» передбачено зрошення трьох поливних ділянок:

П-1 — 40 га;

П-2 — 40 га;

П-3 — 20 га.

Загальна площа зрошення становить:

$$F_{\text{заг}} = 40 + 40 + 20 = 100 \text{ га.}$$

Для поливу ділянок прийнято три дощувальні машини фронтальної дії Variant Irrigation:

ДМ-1 — ділянка П-1 площею 40 га;

ДМ-2 — ділянка П-2 площею 40 га;

ДМ-3 — ділянка П-3 площею 20 га.

Витрата однієї дощувальної машини приймається:

$$Q_M = 55 \text{ л/с.}$$

У перерахунку на м³/год:

$$Q_M = 55 \cdot 3,6 = 198 \text{ м³/год.}$$

Розрахункова витрата системи визначається за формулою:

$$Q_{\text{розр}} = n \cdot Q_M,$$

де $Q_{\text{розр}}$ — розрахункова витрата системи, л/с;

n — кількість одночасно працюючих машин;

Q_M — витрата однієї машини, л/с.

У найбільш напружений період поливного сезону приймається одночасна робота трьох машин:

$$Q_{\text{розр}} = 3 \cdot 55 = 165 \text{ л/с.}$$

У м³/год:

$$Q_{\text{розр}} = 165 \cdot 3,6 = 594 \text{ м³/год.}$$

Отже, основна розрахункова витрата зрошувальної системи становить 165 л/с, або 594 м³/год.

Розрахункові витрати по окремих ділянках мережі залежать від кількості машин, що живляться від відповідної ділянки трубопроводу.

Таблиця 4.2 — Розрахункові витрати води на ділянках зрошувальної мережі

Ділянка мережі	Кількість машин	Розрахункова витрата, л/с	Розрахункова витрата, м³/год
НС — вузол РТ-1	3	165	594
Вузол РТ-1 — вузол РТ-2	2	110	396
Вузол РТ-2 — вузол РТ-3	1	55	198
РТ-1 — ГВ-1	1	55	198
РТ-2 — ГВ-2	1	55	198
РТ-3 — ГВ-3	1	55	198

Найбільша витрата припадає на початкову ділянку магістрального трубопроводу від насосної станції до першого вузла відгалуження — 165 л/с. Далі витрата зменшується відповідно до відбору води окремими дощувальними машинами.

Для підбору насосного обладнання враховується коефіцієнт запасу:

$$K_z = 1,10.$$

Розрахункова витрата з урахуванням запасу визначається за формулою:

$$Q_{\text{зап}} = Q_{\text{розр}} \cdot K_z.$$

$$Q_{\text{зап}} = 165 \cdot 1,10 = 181,5 \text{ л/с.}$$

У м³/год:

$$Q_{\text{зап}} = 181,5 \cdot 3,6 = 653,4 \text{ м³/год.}$$

Таблиця 4.3 — Розрахункова витрата системи з урахуванням запасу

Показник	Одиниця виміру	Значення
Кількість одночасно працюючих машин	шт.	3
Витрата однієї машини	л/с	55
Основна розрахункова витрата системи	л/с	165
Основна розрахункова витрата системи	м³/год	594
Коефіцієнт запасу	—	1,10
Розрахункова витрата з урахуванням запасу	л/с	181,5
Розрахункова витрата з урахуванням запасу	м³/год	653,4

Для перевірки прийнятої витрати визначаємо добову подачу води. За тривалості роботи системи 20 год/добу одна машина подає:

$$V_{\text{доб.м}} = 198 \cdot 20 = 3960 \text{ м³/добу.}$$

Три машини подають:

$$V_{\text{доб.заг}} = 3960 \cdot 3 = 11880 \text{ м³/добу.}$$

Сезонна потреба у воді для зрошуваної площі 100 га була визначена раніше:

$$V_{\text{нетто}} = 149000 \text{ м}^3.$$

З урахуванням ККД системи $\eta = 0,90$:

$$V_{\text{брутто}} = 149000 / 0,90 = 165556 \text{ м}^3.$$

Мінімальна сумарна тривалість роботи системи за сезон:

$$T_{\text{сез}} = 165556 / 11880 = 13,9 \text{ доби.}$$

Це свідчить, що прийнята витрата системи забезпечує подачу необхідного сезонного об'єму води.

Отже, для проєктованої зрошувальної системи ФГ «Алгоритм» основна розрахункова витрата приймається 165 л/с, або 594 м³/год. З урахуванням коефіцієнта запасу для підбору насосного обладнання приймається витрата 181,5 л/с, або 653,4 м³/год. Початкова ділянка магістрального трубопроводу розраховується на 165 л/с, наступні ділянки — на 110 л/с і 55 л/с, а кожен розподільчий трубопровід — на 55 л/с. Отримані значення використовуються для подальшого гідравлічного розрахунку зрошувальної мережі.

4.3 Гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі

Гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі виконується з метою визначення діаметрів трубопроводів, швидкості руху води, втрат напору на окремих ділянках мережі та необхідного напору для забезпечення нормальної роботи дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Результати цього розрахунку є основою для подальшого підбору насосного обладнання та перевірки працездатності всієї системи [1], [7], [22].

У попередньому підрозділі було визначено, що розрахункова витрата зрошувальної системи при одночасній роботі трьох дощувальних машин становить:

$$Q_{\text{розр}} = 165 \text{ л/с} = 0,165 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Витрата однієї машини:

$$Q_m = 55 \text{ л/с} = 0,055 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Закрита зрошувальна мережа складається з магістрального трубопроводу та трьох розподільчих трубопроводів, які подають воду до гідрантів ГВ-1, ГВ-2 і ГВ-3. Для розрахунку приймаємо поліетиленові напірні труби, які є стійкими до корозії, мають достатню міцність і широко застосовуються у сучасних зрошувальних системах.

Для гідравлічного розрахунку приймаємо такі проєктні довжини ділянок мережі:

НС — вузол РТ-1 — 450 м;

вузол РТ-1 — вузол РТ-2 — 500 м;

вузол РТ-2 — вузол РТ-3 — 500 м;

РТ-1 — ГВ-1 — 200 м;

РТ-2 — ГВ-2 — 250 м;

РТ-3 — ГВ-3 — 200 м.

Розрахунок діаметрів трубопроводів виконується з урахуванням допустимої швидкості руху води. Для закритих зрошувальних мереж доцільно приймати швидкість у межах 1,0–1,5 м/с, що забезпечує допустимі втрати напору та нормальну експлуатацію трубопроводів.

Діаметр трубопроводу попередньо визначається за формулою:

$$D = \sqrt[4]{(4Q / \pi v)},$$

де D — розрахунковий діаметр трубопроводу, м;

Q — витрата води на ділянці, $\text{м}^3/\text{с}$;

v — допустима швидкість руху води, м/с.

Для початкової ділянки магістрального трубопроводу при витраті $Q = 0,165 \text{ м}^3/\text{с}$ приймаємо діаметр:

$$D = 0,400 \text{ м}.$$

Для другої ділянки магістрального трубопроводу при витраті $Q = 0,110 \text{ м}^3/\text{с}$ приймаємо:

$$D = 0,355 \text{ м}.$$

Для третьої ділянки магістралі та розподільчих трубопроводів при витраті $Q = 0,055 \text{ м}^3/\text{с}$ приймаємо:

$$D = 0,250 \text{ м.}$$

Швидкість руху води в трубопроводі визначається за формулою:

$$v = 4Q / \pi D^2,$$

де v — швидкість руху води, м/с;

Q — витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$;

D — діаметр трубопроводу, м.

Результати визначення швидкості руху води наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 — Визначення діаметрів трубопроводів і швидкості руху води

Ділянка мережі	Витрата, л/с	Витрата, $\text{м}^3/\text{с}$	Прийнятий діаметр, м	Швидкість, м/с
НС — вузол РТ-1	165	0,165	0,400	1,31
Вузол РТ-1 — вузол РТ-2	110	0,110	0,355	1,11
Вузол РТ-2 — вузол РТ-3	55	0,055	0,250	1,12
РТ-1 — ГВ-1	55	0,055	0,250	1,12
РТ-2 — ГВ-2	55	0,055	0,250	1,12
РТ-3 — ГВ-3	55	0,055	0,250	1,12

За даними таблиці видно, що швидкість руху води на всіх ділянках знаходиться в допустимих межах 1,0–1,5 м/с. Це свідчить про правильність прийнятих діаметрів трубопроводів.

Втрати напору по довжині трубопроводів визначаються за формулою Дарсі — Вейсбаха:

$$h = \lambda \cdot (L / D) \cdot (v^2 / 2g),$$

де h — втрати напору по довжині, м;

λ — коефіцієнт гідравлічного опору;

L — довжина ділянки трубопроводу, м;

D — діаметр трубопроводу, м;

v — швидкість руху води, м/с;

g — прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$.

Для поліетиленових труб приймаємо коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\lambda = 0,025.$$

Розрахунок втрат напору по ділянках мережі наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 — Гідравлічний розрахунок втрат напору в трубопроводах

Ділянка мережі	Довжина, м	Діаметр, м	Швидкість, м/с	Втрати напору, м
НС — вузол РТ-1	450	0,400	1,31	2,47
Вузол РТ-1 — вузол РТ-2	500	0,355	1,11	2,22
Вузол РТ-2 — вузол РТ-3	500	0,250	1,12	3,20
РТ-1 — ГВ-1	200	0,250	1,12	1,28
РТ-2 — ГВ-2	250	0,250	1,12	1,60
РТ-3 — ГВ-3	200	0,250	1,12	1,28

Найбільші втрати напору виникають на ділянці вузол РТ-2 — вузол РТ-3, де при діаметрі 0,250 м і довжині 500 м втрати становлять 3,20 м. На початковій ділянці магістрального трубопроводу втрати становлять 2,47 м, що є допустимим для прийнятої витрати 165 л/с.

Для визначення найбільш несприятливого гідравлічного напрямку розраховуємо сумарні втрати напору від насосної станції до кожного гідранта.

Для гідранта ГВ-1:

$$h_{ГВ-1} = h_{НС-РТ1} + h_{РТ1-ГВ1}$$

$$h_{GB-1} = 2,47 + 1,28 = 3,75 \text{ м.}$$

Для гідранта GB-2:

$$h_{GB-2} = h_{НС-PT1} + h_{PT1-PT2} + h_{PT2-GB2}$$

$$h_{GB-2} = 2,47 + 2,22 + 1,60 = 6,29 \text{ м.}$$

Для гідранта GB-3:

$$h_{GB-3} = h_{НС-PT1} + h_{PT1-PT2} + h_{PT2-PT3} + h_{PT3-GB3}$$

$$h_{GB-3} = 2,47 + 2,22 + 3,20 + 1,28 = 9,17 \text{ м.}$$

Таблиця 4.7 — Сумарні втрати напору до гідрантів

Гідрант	Склад розрахункового напрямку	Сумарні втрати напору, м
GB-1	НС — PT-1 — GB-1	3,75
GB-2	НС — PT-1 — PT-2 — GB-2	6,29
GB-3	НС — PT-1 — PT-2 — PT-3 — GB-3	9,17

Найбільш несприятливим є напрямок до гідранта GB-3, оскільки він має найбільшу довжину трубопроводів і найбільші сумарні втрати напору. Саме цей напрямок приймається розрахунковим для подальшого визначення необхідного напору насосної станції.

Крім втрат по довжині, у мережі виникають місцеві втрати напору в запірній арматурі, фасонних частинах, поворотах, трійниках, гідрантах і вузлах підключення. Для попереднього проєктного розрахунку місцеві втрати приймаються у розмірі 10 % від втрат по довжині:

$$h_{місц} = 0,10 \cdot h_{довж}.$$

Для найбільш несприятливого напрямку:

$$h_{місц} = 0,10 \cdot 9,17 = 0,92 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору на розрахунковому напрямку становлять:

$$h_{заг} = h_{довж} + h_{місц},$$

$$h_{\text{заг}} = 9,17 + 0,92 = 10,09 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$h_{\text{заг}} = 10,1 \text{ м.}$$

Для забезпечення роботи дощувальної машини Variant Irrigation необхідно підтримувати робочий тиск на вході в машину в межах 0,35–0,45 МПа, що відповідає приблизно 35–45 м водяного стовпа. Для подальших розрахунків приймаємо необхідний напір на вході в машину:

$$H_{\text{маш}} = 40 \text{ м.}$$

Необхідний напір насосної станції визначається як сума напору, потрібного для роботи машини, втрат напору в мережі та геодезичної висоти підйому води:

$$H_{\text{нс}} = H_{\text{маш}} + h_{\text{заг}} + H_{\text{геод}},$$

де $H_{\text{нс}}$ — необхідний напір насосної станції, м;

$H_{\text{маш}}$ — робочий напір на вході в дощувальну машину, м;

$h_{\text{заг}}$ — загальні втрати напору в трубопроводах, м;

$H_{\text{геод}}$ — геодезична висота підйому води, м.

Для проєктного розрахунку приймаємо геодезичну висоту підйому:

$$H_{\text{геод}} = 8 \text{ м.}$$

Тоді:

$$H_{\text{нс}} = 40 + 10,1 + 8 = 58,1 \text{ м.}$$

З урахуванням запасу напору приймаємо:

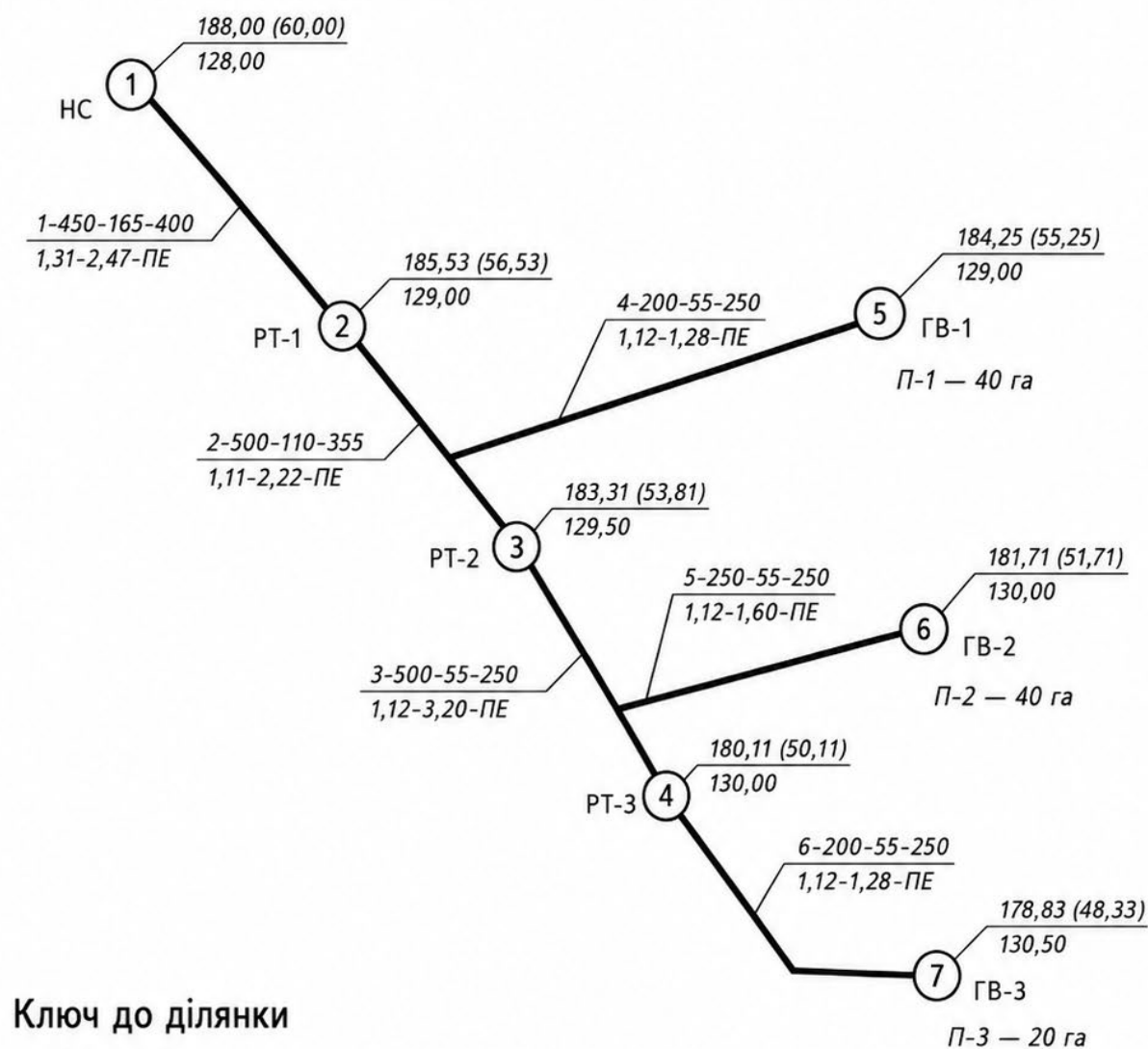
$$H_{\text{нс}} = 60 \text{ м.}$$

Отже, насосна станція повинна забезпечувати подачу води з розрахунковою витратою 181,5 л/с та напором не менше 60 м.

Таблиця 4.8 — Основні результати гідравлічного розрахунку мережі

Показник	Одиниця виміру	Значення
Розрахункова витрата системи	л/с	165
Розрахункова витрата з урахуванням запасу	л/с	181,5
Найбільші втрати напору по довжині	м	9,17
Місцеві втрати напору	м	0,92
Загальні втрати напору	м	10,1
Робочий напір на вході в машину	м	40
Геодезична висота підйому	м	8
Необхідний напір насосної станції	м	60
Прийнятий діаметр початкової ділянки магістралі	м	0,400
Прийнятий діаметр другої ділянки магістралі	м	0,355
Прийнятий діаметр третьої ділянки та РТ	м	0,250

Отже, за результатами гідравлічного розрахунку для зрошувальної мережі ФГ «Алгоритм» прийнято поліетиленові напірні трубопроводи діаметром 0,400 м, 0,355 м і 0,250 м. Швидкість руху води на ділянках мережі становить 1,11–1,31 м/с, що відповідає допустимим значенням для закритих зрошувальних трубопроводів. Найбільші сумарні втрати напору виникають у напрямку до гідранта ГВ-3 і становлять 9,17 м, а з урахуванням місцевих втрат — 10,1 м. Для забезпечення роботи дощувальних машин Variant Irrigation необхідний напір насосної станції приймається 60 м при витраті 181,5 л/с.



Ключ до ділянки

$\frac{N^{\circ}-L-Q-D}{v-h-Mat}$

N° — ділянки
 L — довжина, м
 Q — витрата, л/с
 D — діаметр труб, мм
 v — швидкість руху води в трубі, м/с
 h — втрати напору, м
 Mat — матеріал труб

Ключ до вузла

$\frac{\text{П'єзометричний напір (Вільний напір)}}{\text{Відмітка землі}}$

$Q_{\text{розр}} = 165 \text{ л/с}$	$h_{\text{заг}} = 10,1 \text{ м}$
$Q_{\text{зап}} = 181,5 \text{ л/с}$	$H_{\text{маш}} = 40 \text{ м}$
$h_{\text{довж}} = 9,17 \text{ м}$	$H_{\text{геод}} = 8 \text{ м}$
$h_{\text{місц}} = 0,92 \text{ м}$	$H_{\text{нс}} = 60 \text{ м}$

Рисунок 4.2 – Схема гідравлічного розрахунку закритої зрошувальної мережі

4.4 Підбір діаметрів трубопроводів

Підбір діаметрів трубопроводів є важливим етапом проєктування закритої зрошувальної мережі. Від правильно прийнятого діаметра залежить швидкість руху води, величина втрат напору, енерговитрати насосної станції, надійність роботи системи та вартість будівництва. Надто малий діаметр трубопроводу призводить до збільшення швидкості руху води, значних втрат напору та підвищення витрат електроенергії. Надто великий діаметр, навпаки, зменшує втрати напору, але збільшує вартість трубопроводів і будівельно-монтажних робіт [1], [7], [22].

Для проєктованої зрошувальної мережі ФГ «Алгоритм» підбір діаметрів виконується на основі розрахункових витрат води, визначених у підрозділі 4.2, та допустимих швидкостей руху води в напірних трубопроводах. У системі передбачено роботу трьох дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation, кожна з яких має витрату:

$$Q_M = 55 \text{ л/с} = 0,055 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При одночасній роботі трьох машин загальна розрахункова витрата системи становить:

$$Q_{\text{розр}} = 3 \cdot 55 = 165 \text{ л/с} = 0,165 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Зрошувальна мережа складається з магістрального трубопроводу та розподільчих трубопроводів. Витрата води в магістральному трубопроводі змінюється залежно від кількості машин, які живляться нижче за течією води. Початкова ділянка магістралі працює з повною витратою 165 л/с, наступна — з витратою 110 л/с, а кінцева ділянка — з витратою 55 л/с. Кожен розподільчий трубопровід до гідранта розраховується на витрату 55 л/с.

Попередній діаметр трубопроводу визначається за формулою:

$$D = \sqrt{(4Q / \pi v)},$$

де D — розрахунковий діаметр трубопроводу, м;

Q — витрата води на ділянці, $\text{м}^3/\text{с}$;

v — допустима швидкість руху води, $\text{м}/\text{с}$;

π — математична стала, 3,14.

Для напірних трубопроводів закритої зрошувальної мережі приймається допустима швидкість руху води в межах:

$$v_{\text{доп}} = 1,0\text{--}1,5 \text{ м/с}.$$

Такі значення забезпечують нормальну роботу мережі, не спричиняють надмірних втрат напору та не створюють небезпеки гідравлічних ударів за умови правильної експлуатації системи.

Для ділянки з витратою $Q = 0,165 \text{ м}^3/\text{с}$ при прийнятій швидкості $v = 1,3 \text{ м/с}$ розрахунковий діаметр становить:

$$D = \sqrt{(4 \cdot 0,165 / 3,14 \cdot 1,3)} = 0,402 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартний діаметр:

$$D = 400 \text{ мм}.$$

Для ділянки з витратою $Q = 0,110 \text{ м}^3/\text{с}$ при швидкості $v = 1,1 \text{ м/с}$:

$$D = \sqrt{(4 \cdot 0,110 / 3,14 \cdot 1,1)} = 0,356 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартний діаметр:

$$D = 355 \text{ мм}.$$

Для ділянок з витратою $Q = 0,055 \text{ м}^3/\text{с}$ при швидкості близько $1,1 \text{ м/с}$:

$$D = \sqrt{(4 \cdot 0,055 / 3,14 \cdot 1,1)} = 0,252 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартний діаметр:

$$D = 250 \text{ мм}.$$

Після попереднього підбору діаметрів виконується перевірка фактичної швидкості руху води за формулою:

$$v = 4Q / \pi D^2,$$

де v — фактична швидкість руху води, $\text{м}/\text{с}$;

Q — витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$;

D — прийнятий діаметр трубопроводу, м.

Для ділянки з витратою $0,165 \text{ м}^3/\text{с}$ та діаметром $0,400 \text{ м}$:

$$v = 4 \cdot 0,165 / 3,14 \cdot 0,400^2 = 1,31 \text{ м/с.}$$

Для ділянки з витратою 0,110 м³/с та діаметром 0,355 м:

$$v = 4 \cdot 0,110 / 3,14 \cdot 0,355^2 = 1,11 \text{ м/с.}$$

Для ділянок з витратою 0,055 м³/с та діаметром 0,250 м:

$$v = 4 \cdot 0,055 / 3,14 \cdot 0,250^2 = 1,12 \text{ м/с.}$$

Отримані швидкості знаходяться в допустимих межах 1,0–1,5 м/с, тому прийняті діаметри трубопроводів є обґрунтованими.

Таблиця 4.9 — Підбір діаметрів трубопроводів закритої зрошувальної мережі

Ділянка мережі	Витрата, л/с	Витрата, м³/с	Прийнятий діаметр, мм	Швидкість руху води, м/с	Матеріал труб
НС — вузол РТ-1	165	0,165	400	1,31	ПЕ
Вузол РТ-1 — вузол РТ-2	110	0,110	355	1,11	ПЕ
Вузол РТ-2 — вузол РТ-3	55	0,055	250	1,12	ПЕ
РТ-1 — ГВ-1	55	0,055	250	1,12	ПЕ
РТ-2 — ГВ-2	55	0,055	250	1,12	ПЕ
РТ-3 — ГВ-3	55	0,055	250	1,12	ПЕ

З таблиці видно, що найбільший діаметр приймається на початковій ділянці магістрального трубопроводу, оскільки по ній транспортується повна витрата системи — 165 л/с. Для цієї ділянки прийнято трубу діаметром 400 мм. На наступній ділянці магістралі, де витрата становить 110 л/с, прийнято діаметр 355 мм. На кінцевій ділянці магістралі та на

розподільчих трубопроводах, де витрата становить 55 л/с, прийнято діаметр 250 мм.

Для зрошувальної мережі приймаються напірні поліетиленові труби. Поліетиленові труби мають низку переваг: стійкість до корозії, відносно невелику масу, зручність монтажу, достатню міцність, гладку внутрішню поверхню та тривалий строк експлуатації. Гладка внутрішня поверхня труб зменшує гідравлічний опір і сприяє зменшенню втрат напору під час транспортування води [7], [25].

Підібрані діаметри також узгоджуються з результатами гідравлічного розрахунку, виконаного в підрозділі 4.3. При прийнятих діаметрах втрати напору на розрахунковому напрямку до найбільш віддаленого гідранта ГВ-3 становлять 9,17 м, а з урахуванням місцевих втрат — 10,1 м. Це дозволяє забезпечити необхідний робочий тиск на вході в дощувальні машини та прийняти напір насосної станції 60 м.

Отже, для закритої зрошувальної мережі ФГ «Алгоритм» прийнято такі діаметри трубопроводів: на початковій ділянці магістрального трубопроводу — 400 мм, на другій ділянці магістралі — 355 мм, на кінцевій ділянці магістралі та розподільчих трубопроводах — 250 мм. Фактична швидкість руху води становить 1,11–1,31 м/с, що відповідає допустимим значенням для напірних зрошувальних мереж. Прийняті діаметри забезпечують надійну подачу води до дощувальних машин Variant Irrigation та використовуються в подальшому розрахунку насосної станції й елементів зрошувальної мережі.

4.5 Визначення втрат напору в мережі

У цьому підрозділі на основі прийнятих діаметрів трубопроводів і розрахункових витрат води визначаються втрати напору в закритій зрошувальній мережі. Розрахунок втрат напору необхідний для

встановлення найбільш несприятливого напрямку руху води та подальшого визначення необхідного напору насосної станції.

Втрати напору по довжині трубопроводів визначаються за формулою Дарсі — Вейсбаха:

$$h = \lambda \cdot (L / D) \cdot (v^2 / 2g),$$

де h — втрати напору по довжині, м;

λ — коефіцієнт гідравлічного опору;

L — довжина ділянки трубопроводу, м;

D — діаметр трубопроводу, м;

v — швидкість руху води, м/с;

g — прискорення вільного падіння, 9,81 м/с².

Для поліетиленових труб приймається коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\lambda = 0,025.$$

Результати визначення втрат напору по окремих ділянках мережі наведено в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 — Втрати напору по довжині трубопроводів

Ділянка мережі	Довжина, м	Діаметр, м	Швидкість, м/с	Втрати напору, м
НС — вузол РТ-1	450	0,400	1,31	2,47
Вузол РТ-1 — вузол РТ-2	500	0,355	1,11	2,22
Вузол РТ-2 — вузол РТ-3	500	0,250	1,12	3,20
РТ-1 — ГВ-1	200	0,250	1,12	1,28
РТ-2 — ГВ-2	250	0,250	1,12	1,60
РТ-3 — ГВ-3	200	0,250	1,12	1,28

За результатами розрахунку найбільші втрати напору на окремій ділянці спостерігаються на трубопроводі вузол РТ-2 — вузол РТ-3 і становлять 3,20 м. Це пояснюється значною довжиною ділянки та меншим прийнятим діаметром трубопроводу.

Для визначення розрахункового напрямку порівнюємо сумарні втрати напору від насосної станції до кожного гідранта.

До гідранта ГВ-1:

$$h_{ГВ-1} = 2,47 + 1,28 = 3,75 \text{ м.}$$

До гідранта ГВ-2:

$$h_{ГВ-2} = 2,47 + 2,22 + 1,60 = 6,29 \text{ м.}$$

До гідранта ГВ-3:

$$h_{ГВ-3} = 2,47 + 2,22 + 3,20 + 1,28 = 9,17 \text{ м.}$$

Таблиця 4.11 — Сумарні втрати напору до гідрантів

Гідрант	Розрахунковий напрямок	Сумарні втрати напору, м
ГВ-1	НС — РТ-1 — ГВ-1	3,75
ГВ-2	НС — РТ-1 — РТ-2 — ГВ-2	6,29
ГВ-3	НС — РТ-1 — РТ-2 — РТ-3 — ГВ-3	9,17

Найбільші сумарні втрати напору виникають у напрямку до гідранта ГВ-3, тому саме цей напрямок приймається розрахунковим.

Місцеві втрати напору, які виникають у трійниках, засувках, поворотах, гідрантах та інших фасонних частинах, приймаються у розмірі 10 % від втрат по довжині:

$$h_{місц} = 0,10 \cdot h_{довж.}$$

$$h_{місц} = 0,10 \cdot 9,17 = 0,92 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору в мережі становлять:

$$h_{заг} = h_{довж} + h_{місц} = 9,17 + 0,92 = 10,09 \text{ м.}$$

Приймаємо:

$$h_{\text{заг}} = 10,1 \text{ м.}$$

Таблиця 4.12 — Загальні втрати напору в мережі

Показник	Одиниця виміру	Значення
Розрахунковий напрямок	—	НС — РТ-1 — РТ-2 — РТ-3 — ГВ-3
Втрати напору по довжині	м	9,17
Місцеві втрати напору	м	0,92
Загальні втрати напору	м	10,1

Отже, найбільш несприятливим напрямком у закритій зрошувальній мережі є напрямок до гідранта ГВ-3. Сумарні втрати напору по довжині на цьому напрямку становлять 9,17 м, місцеві втрати — 0,92 м, а загальні втрати напору — 10,1 м. Отримане значення використовується в наступному підрозділі для визначення необхідного напору насосної станції.

4.6 Підбір насосного обладнання

Підбір насосного обладнання виконується для забезпечення необхідної витрати води та напору в закритій зрошувальній мережі. Насосна станція повинна подавати воду від джерела зрошення — річки Оріль — до дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation з урахуванням втрат напору в трубопроводах, місцевих втрат, геодезичної висоти підйому та необхідного робочого напору на вході в дощувальні машини [1], [7], [22].

У попередніх підрозділах було визначено, що в проєкті передбачено роботу трьох дощувальних машин, витрата кожної з яких становить:

$$Q_{\text{м}} = 55 \text{ л/с.}$$

Основна розрахункова витрата системи:

$$Q_{\text{розр}} = 3 \cdot 55 = 165 \text{ л/с.}$$

У перерахунку на м³/год:

$$Q_{\text{розр}} = 165 \cdot 3,6 = 594 \text{ м³/год.}$$

Для забезпечення надійної роботи системи прийнято коефіцієнт запасу:

$$K_z = 1,10.$$

Тоді розрахункова витрата з урахуванням запасу становить:

$$Q_{\text{зап}} = Q_{\text{розр}} \cdot K_z = 165 \cdot 1,10 = 181,5 \text{ л/с.}$$

У м³/год:

$$Q_{\text{зап}} = 181,5 \cdot 3,6 = 653,4 \text{ м³/год.}$$

Отже, насосна станція повинна забезпечувати подачу води з витратою не менше 181,5 л/с, або 653,4 м³/год.

Необхідний напір насосної станції визначається за формулою:

$$H_{\text{нс}} = H_{\text{маш}} + h_{\text{заг}} + H_{\text{геод}},$$

де $H_{\text{нс}}$ — необхідний напір насосної станції, м;

$H_{\text{маш}}$ — робочий напір на вході в дощувальну машину, м;

$h_{\text{заг}}$ — загальні втрати напору в мережі, м;

$H_{\text{геод}}$ — геодезична висота підйому води, м.

За попередніми розрахунками прийнято:

$$H_{\text{маш}} = 40 \text{ м;}$$

$$h_{\text{заг}} = 10,1 \text{ м;}$$

$$H_{\text{геод}} = 8 \text{ м.}$$

Тоді:

$$H_{\text{нс}} = 40 + 10,1 + 8 = 58,1 \text{ м.}$$

З урахуванням експлуатаційного запасу приймаємо:

$$H_{\text{нс}} = 60 \text{ м.}$$

Отже, насосне обладнання повинно забезпечувати подачу води з параметрами:

$$Q = 653,4 \text{ м³/год;}$$

$$H = 60 \text{ м.}$$

Для проєктованої насосної станції приймається встановлення відцентрових насосних агрегатів горизонтального типу. Такі насоси доцільно застосовувати для подачі значних витрат води в напірні трубопровідні мережі. Вони мають просту конструкцію, достатню надійність, можливість роботи в тривалому режимі та зручні в експлуатації.

Для забезпечення гнучкої роботи системи приймаємо насосну станцію з двома робочими насосними агрегатами та одним резервним. Така схема дозволяє змінювати подачу води залежно від кількості одночасно працюючих дощувальних машин. Якщо працює одна або дві машини, може вмикатися один насосний агрегат. У період максимального навантаження, коли працюють три машини, вмикаються два робочі агрегати. Резервний насос передбачається для підвищення надійності роботи насосної станції у разі ремонту або аварійного відключення одного з агрегатів.

При двох робочих насосах подача одного агрегату становить:

$$Q_1 = Q_{\text{зап}} / 2.$$

$$Q_1 = 653,4 / 2 = 326,7 \text{ м}^3/\text{год}.$$

У л/с:

$$Q_1 = 326,7 / 3,6 = 90,75 \text{ л/с}.$$

Отже, для насосної станції приймаються два робочі насосні агрегати з параметрами одного насоса:

$$Q_1 = 326,7 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$H = 60 \text{ м}.$$

З урахуванням резерву приймається склад насосної станції:
2 робочі насоси + 1 резервний насос.

Таблиця 4.13 — Основні параметри насосної станції

Показник	Одиниця виміру	Значення
Основна розрахункова витрата системи	л/с	165
Основна розрахункова витрата системи	м³/год	594
Коефіцієнт запасу	—	1,10
Розрахункова витрата з урахуванням запасу	л/с	181,5
Розрахункова витрата з урахуванням запасу	м³/год	653,4
Необхідний напір насосної станції	м	60
Кількість робочих насосів	шт.	2
Кількість резервних насосів	шт.	1
Подача одного робочого насоса	м³/год	326,7
Подача одного робочого насоса	л/с	90,75
Напір одного насоса	м	60

Потужність насосного агрегату визначається за формулою:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \eta,$$

де N — потужність насоса, Вт;

ρ — густина води, 1000 кг/м³;

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

Q — подача одного насоса, м³/с;

H — напір насоса, м;

η — коефіцієнт корисної дії насосного агрегату.

Подача одного насоса:

$$Q_1 = 90,75 \text{ л/с} = 0,09075 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо коефіцієнт корисної дії насосного агрегату:

$$\eta = 0,75.$$

Тоді потужність одного насоса становить:

$$N = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,09075 \cdot 60 / 0,75.$$

$$N = 71212 \text{ Вт} = 71,2 \text{ кВт.}$$

З урахуванням запасу приймаємо електродвигун потужністю:

$$N_{\text{дв}} = 90 \text{ кВт.}$$

Для двох одночасно працюючих насосів загальна встановлена робоча потужність становить:

$$N_{\text{роб}} = 2 \cdot 90 = 180 \text{ кВт.}$$

З урахуванням одного резервного агрегату встановлена потужність насосної станції становить:

$$N_{\text{вст}} = 3 \cdot 90 = 270 \text{ кВт.}$$

Таблиця 4.14 — Розрахунок потужності насосних агрегатів

Показник	Одиниця виміру	Значення
Подача одного насоса	м³/с	0,09075
Подача одного насоса	л/с	90,75
Напір насоса	м	60
ККД насосного агрегату	—	0,75
Розрахункова потужність одного насоса	кВт	71,2
Прийнята потужність електродвигуна	кВт	90
Кількість робочих насосів	шт.	2
Кількість резервних насосів	шт.	1
Робоча потужність насосної станції	кВт	180
Встановлена потужність з резервом	кВт	270

Насосна станція повинна забезпечувати стабільну подачу води до закритої трубопровідної мережі при роботі дощувальних машин. Для цього

в її складі передбачаються основні та допоміжні елементи: насосні агрегати, електродвигуни, всмоктувальні та напірні трубопроводи, запірні арматура, зворотні клапани, манометри, засоби автоматичного керування та захисту. Для захисту насосів від потрапляння механічних домішок перед насосними агрегатами необхідно передбачити захисні решітки або фільтрувальні пристрої. Це особливо важливо при заборі води з поверхневого джерела, оскільки у воді можуть бути завислі частки, водна рослинність, мул або сміття.

Робота насосної станції повинна бути узгоджена з графіком поливів. У періоди, коли працює одна дощувальна машина, можливе використання одного насосного агрегату. За одночасної роботи трьох машин вмикаються два робочі агрегати. Така схема дозволяє зменшити непродуктивні витрати електроенергії, підвищити гнучкість експлуатації та забезпечити надійну роботу системи.

Таблиця 4.15 — Прийняте насосне обладнання для проєктованої системи

Показник	Прийняте рішення
Тип насосів	Відцентрові горизонтальні насосні агрегати
Кількість насосів	2 робочі + 1 резервний
Подача одного насоса	326,7 м³/год
Напір одного насоса	60 м
Потужність електродвигуна одного насоса	90 кВт
Загальна робоча потужність	180 кВт
Встановлена потужність з резервом	270 кВт
Джерело води	Річка Оріль

Призначення	Подача води до закритої зрошувальної мережі та дощувальних машин Variant Irrigation
-------------	---

Отже, для проєктованої зрошувальної системи ФГ «Алгоритм» приймається насосна станція з трьома відцентровими насосними агрегатами, з яких два є робочими, а один — резервним. подача одного насоса становить 326,7 м³/год, напір — 60 м, потужність електродвигуна — 90 кВт. За одночасної роботи двох насосів забезпечується подача 653,4 м³/год, що відповідає розрахунковій потребі системи з урахуванням запасу. Прийнята схема насосної станції забезпечує надійну подачу води до дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation і дає можливість гнучко регулювати роботу системи залежно від графіка поливів.

4.7 Проєктування гідротехнічних споруд на зрошувальній мережі

Проєктування гідротехнічних споруд на зрошувальній мережі виконується з метою забезпечення надійної, безпечної та зручної експлуатації системи. До складу таких споруд входять елементи водозабору, насосної станції, вузли підключення трубопроводів, гідранти, запірні та регулювальні арматури, вантузи, скидні пристрої, оглядові колодязі та споруди для спорожнення мережі. Вони забезпечують подачу води до дощувальних машин, регулювання витрат, захист трубопроводів від аварійних режимів і можливість проведення ремонтно-експлуатаційних робіт [1], [7], [22].

Для проєктованої системи зрошення ФГ «Алгоритм» прийнято закриту напірну трубопровідну мережу з механічною подачею води від джерела зрошення — річки Оріль — до дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Основними елементами мережі є насосна станція, магістральний

трубопровід, розподільчі трубопроводи, гідранти водоподачі та допоміжні гідротехнічні пристрої.

Водозабірною спорудою розміщується поблизу джерела зрошення. Її основне призначення — забезпечити надійний забір води з річки Оріль упродовж усього поливного сезону. При проектуванні водозабору необхідно враховувати коливання рівнів води, можливість замулення, наявність водної рослинності, завислих часток і сміття. Для захисту насосного обладнання передбачаються захисні решітки або фільтрувальні пристрої попереднього очищення води.

Насосна станція є основною гідротехнічною спорудою системи, оскільки забезпечує подачу води в закриту трубопровідну мережу. У попередньому підрозділі було прийнято встановлення трьох відцентрових насосних агрегатів, із яких два є робочими, а один — резервним. Подача одного насоса становить 326,7 м³/год, напір — 60 м, потужність електродвигуна — 90 кВт. Така схема забезпечує надійну роботу системи та можливість резервування обладнання у разі аварії або ремонту одного з насосів.

На напірному трубопроводі після насосної станції встановлюється запірні арматура, зворотні клапани, манометри та контрольно-вимірювальні прилади. Зворотні клапани запобігають зворотному руху води після зупинки насосів, а запірні арматура дає можливість відключати окремі ділянки мережі для ремонту або технічного обслуговування. Манометри встановлюються для контролю робочого тиску в системі.

На магістральному та розподільчих трубопроводах передбачаються вузли відгалуження. Вони розміщуються у місцях підключення розподільчих трубопроводів РТ-1, РТ-2 і РТ-3 до магістральної лінії. У цих вузлах встановлюються трійники, засувки, фланцеві з'єднання та за потреби оглядові колодязі. Такі вузли забезпечують подачу води до окремих

поливних ділянок і дають можливість відключати кожну гілку мережі незалежно від інших.

Гідранти водоподачі встановлюються в місцях підключення дощувальних машин до розподільчих трубопроводів. У проєкті передбачено три гідранти:

ГВ-1 — для підключення дощувальної машини ДМ-1 на ділянці П-1 площею 40 га;

ГВ-2 — для підключення дощувальної машини ДМ-2 на ділянці П-2 площею 40 га;

ГВ-3 — для підключення дощувальної машини ДМ-3 на ділянці П-3 площею 20 га.

Кожен гідрант повинен забезпечувати подачу води з витратою 55 л/с, що відповідає витраті однієї дощувальної машини Variant Irrigation. Гідранти розміщуються біля поливних ділянок у місцях, зручних для підключення машини та обслуговування персоналом. Вони не повинні перешкоджати руху сільськогосподарської техніки та мають бути захищені від механічних пошкоджень.

На підвищених ділянках трубопроводів передбачаються вантузи. Вони призначені для випуску повітря під час заповнення мережі водою та для впуску повітря під час її спорожнення. Накопичення повітря у трубопроводах може знижувати пропускну здатність мережі, спричиняти коливання тиску та порушувати роботу дощувальних машин. Тому встановлення вантузів є необхідним заходом для забезпечення надійної експлуатації закритої напірної мережі.

На понижених ділянках трубопроводів передбачаються скидні пристрої. Вони призначені для спорожнення мережі після завершення поливного сезону, під час ремонтних робіт або у разі аварійної ситуації. Скид води з трубопроводів необхідний для запобігання пошкодженню мережі в

зимовий період, а також для виконання огляду та ремонту окремих ділянок системи.

Оглядові колодязі передбачаються в місцях розміщення запірної арматури, гідрантів, вантузів, скидних пристроїв і вузлів відгалуження. Вони забезпечують доступ до обладнання для огляду, регулювання, ремонту та технічного обслуговування. Конструкція колодязів повинна забезпечувати зручний доступ персоналу, захист арматури від механічних пошкоджень і можливість експлуатації впродовж усього поливного сезону.

Запірна арматура встановлюється на початку магістрального трубопроводу, на відгалуженнях до розподільчих трубопроводів, біля гідрантів і в місцях, де необхідно забезпечити можливість відключення окремих ділянок мережі. Це дозволяє виконувати ремонт без зупинки всієї системи та регулювати подачу води до окремих поливних ділянок. Для напірної мережі приймається арматура, розрахована на робочий тиск, що відповідає напору насосної станції.

Для захисту трубопроводів від гідравлічних ударів необхідно передбачати плавний пуск і зупинку насосів, справність зворотних клапанів, поступове відкривання та закривання засувки. Різке припинення руху води або швидке закриття арматури може спричинити підвищення тиску в трубопроводах і пошкодження елементів мережі. Тому експлуатація системи повинна виконуватися відповідно до встановленого режиму роботи насосної станції та дощувальних машин.

Основні гідротехнічні споруди та елементи зрошувальної мережі наведено в таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 — Гідротехнічні споруди та елементи зрошувальної мережі

Елемент мережі	Кількість	Призначення
Водозабірна споруда	1	Забір води з річки Оріль
Насосна станція	1	Подача води в закриту зрошувальну мережу
Насосні агрегати	3	Два робочі та один резервний насос
Магістральний трубопровід	1	Подача води від насосної станції до зрошуваного масиву
Розподільчі трубопроводи	3	Подача води до окремих поливних ділянок
Гідранти водоподачі	3	Підключення дощувальних машин
Вантузи	за потребою	Видалення повітря з трубопроводів
Скидні пристрої	за потребою	Спорожнення мережі
Оглядові колодязі	за потребою	Доступ до арматури та вузлів мережі
Запірна арматура	за потребою	Відключення та регулювання окремих ділянок мережі

Для проєктованої мережі приймається така схема розміщення гідротехнічних споруд: водозабір і насосна станція розташовуються біля джерела зрошення; від насосної станції прокладається магістральний трубопровід; від нього відходять три розподільчі трубопроводи до поливних ділянок; біля кожної ділянки встановлюється гідрант для підключення дощувальної машини. На найвищих точках трубопроводів встановлюються вантузи, а на понижених — скидні пристрої.

Отже, для закритої зрошувальної мережі ФГ «Алгоритм» передбачено комплекс гідротехнічних споруд, які забезпечують надійну подачу води від річки Оріль до дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. До основних споруд належать водозабірна споруда, насосна станція, магістральний і розподільчі трубопроводи, гідранти, запірна

арматура, вантузи, скидні пристрої та оглядові колодязі. Прийняті проєктні рішення забезпечують можливість регулювання водоподачі, технічного обслуговування системи, захисту мережі від аварійних режимів і стабільної роботи зрошувальної системи впродовж поливного сезону.

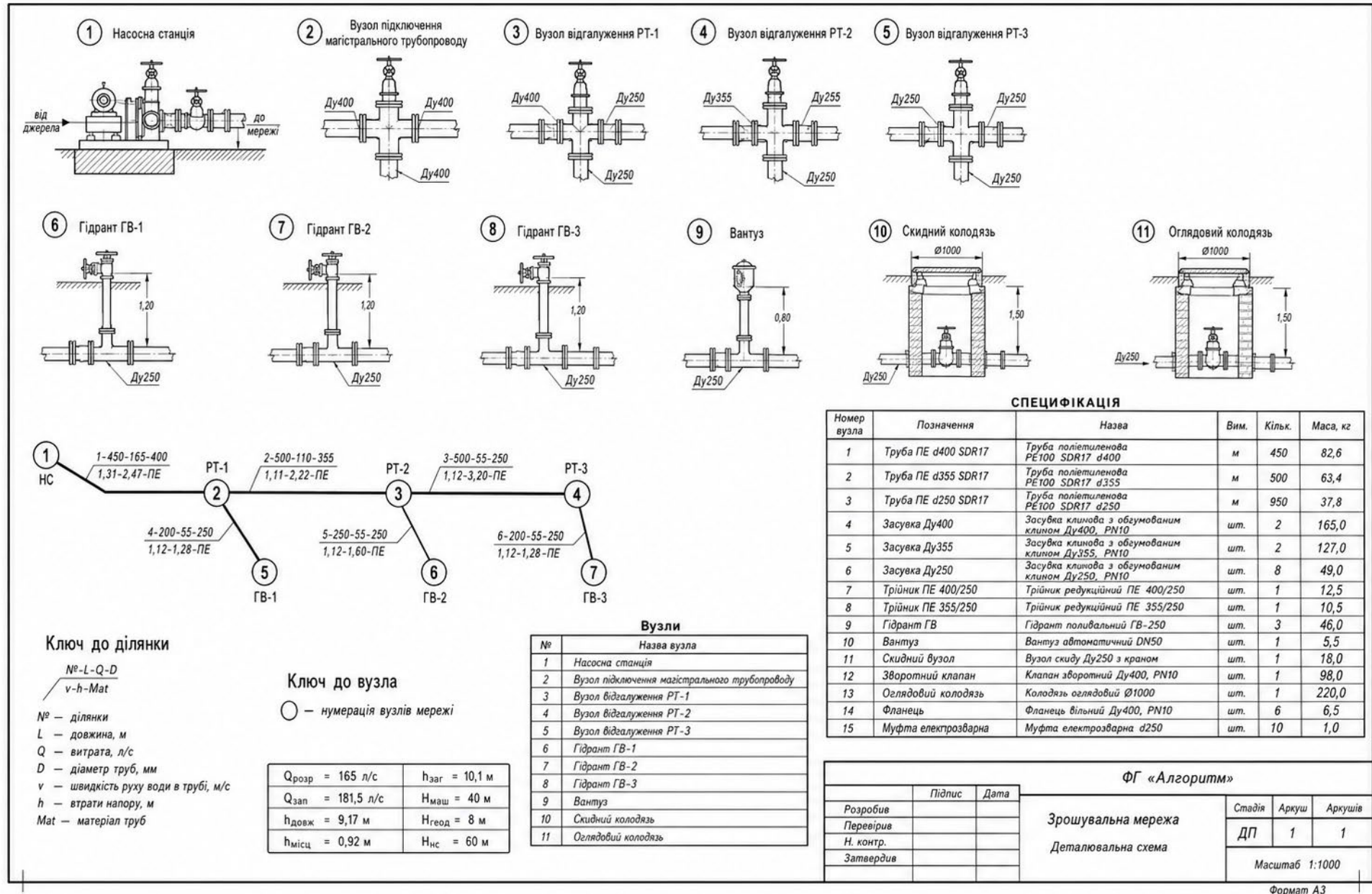


Рисунок 4.3 – Деталювальна схема зрошувальної мережі

4.8 Проектування доріг, лісосмуг та організація території зрошуваного масиву

Проектування зрошувальної мережі передбачає не лише розміщення трубопроводів, гідрантів і дощувальних машин, а й раціональну організацію всієї території зрошуваного масиву. До таких елементів належать польові дороги, лісосмуги, межі поливних ділянок, місця розміщення гідротехнічних споруд, під'їзди до насосної станції та умови для безперешкодної роботи дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation.

Для ФГ «Алгоритм» зрошуваний масив запроєктовано на площі 100 га. Територія поділяється на три поливні ділянки:

П-1 — 40 га;

П-2 — 40 га;

П-3 — 20 га.

Такий поділ відповідає прийнятій схемі роботи трьох дощувальних машин:

ДМ-1 — для ділянки П-1;

ДМ-2 — для ділянки П-2;

ДМ-3 — для ділянки П-3.

Основним принципом організації території є забезпечення прямолінійного руху дощувальних машин фронтальної дії. Для цього поливні ділянки приймаються переважно прямокутної форми. Довга сторона ділянки повинна відповідати напрямку руху машини, а ширина ділянки — ширині захвату дощувальної машини. Для ділянок П-1 і П-2 прийнято розміри 400×1000 м, що відповідає площі:

$$F = 400 \cdot 1000 / 10000 = 40 \text{ га.}$$

Для ділянки П-3 прийнято розміри 400×500 м, що відповідає площі:

$$F = 400 \cdot 500 / 10000 = 20 \text{ га.}$$

Розміщення поливних ділянок повинно забезпечувати мінімальну кількість перешкод для руху машин. На площі руху дощувальних машин не допускається розміщення постійних споруд, дерев, опор, відкритих каналів або інших елементів, які можуть перешкоджати роботі машин. Трубопроводи закритої зрошувальної мережі прокладаються підземно, що дає можливість ефективно використовувати площу поля та не заважати сільськогосподарським роботам.

Польові дороги проєктуються для забезпечення під'їзду до насосної станції, гідрантів, вузлів відгалуження, оглядових колодязів, скидних пристроїв і поливних ділянок. Вони також необхідні для руху сільськогосподарської техніки під час обробітку ґрунту, сівби, догляду за посівами, внесення добрив, захисту рослин і збирання врожаю.

У межах зрошуваного масиву передбачається така система доріг:

- під'їзна дорога до насосної станції;
- польові дороги вздовж меж поливних ділянок;
- технологічні проїзди до гідрантів;
- проїзди для обслуговування вузлів зрошувальної мережі.

Основні польові дороги доцільно розміщувати по межах поливних ділянок, щоб вони не перетинали робочу площу дощувальних машин. Це дозволяє уникнути втрат зрошуваної площі, забезпечити зручний доступ до полів та не порушувати прямолінійний рух машин.

Ширина польових доріг приймається залежно від їх призначення. Для основних польових доріг, якими здійснюється рух тракторів, комбайнів, автомобілів і ремонтної техніки, приймається ширина 4–6 м. Для технологічних проїздів до гідрантів і вузлів мережі може прийматися ширина 3–4 м.

Таблиця 4.17 — Проектні параметри польових доріг

Вид дороги	Призначення	Прийнята ширина, м
Під'їзна дорога до насосної станції	Доступ до НС, підвезення обладнання, ремонт	5–6
Основні польові дороги	Рух сільськогосподарської техніки	4–6
Дороги вздовж меж поливних ділянок	Обслуговування полів і дощувальних машин	4
Технологічні проїзди до гідрантів	Доступ до ГВ-1, ГВ-2, ГВ-3	3–4
Проїзди до оглядових колодязів і арматури	Технічне обслуговування мережі	3

Польові дороги повинні мати ущільнене ґрунтове або щебенеve покриття, що забезпечує можливість руху техніки впродовж поливного сезону. На ділянках із можливим перезволоженням або у місцях частого руху техніки доцільно передбачати поліпшене покриття. У понижених місцях необхідно забезпечити відведення поверхневого стоку, щоб запобігти розмиванню дорожнього полотна.

Важливим елементом організації території зрошуваного масиву є ползахисні лісосмуги. В умовах степової зони Дніпропетровської області вони мають велике значення, оскільки зменшують швидкість вітру, захищають ґрунт від вітрової ерозії, знижують випаровування вологи з поверхні ґрунту, поліпшують мікроклімат поля та сприяють більш рівномірному розподілу вологи.

Для зрошуваного масиву ФГ «Алгоритм» лісосмуги доцільно розміщувати по зовнішніх межах масиву, а також уздовж основних польових доріг. Їх розміщення повинно враховувати напрямок панівних суховійних вітрів. У степових умовах найбільш ефективними є лісосмуги, розташовані перпендикулярно або під кутом до напрямку панівних вітрів.

Водночас під час проєктування лісосмуг необхідно враховувати особливості роботи дощувальних машин фронтальної дії. Лісосмути не повинні розміщуватися всередині робочої площі поливної ділянки та перешкоджати руху машин. Відстань від лісосмути до робочої траєкторії дощувальної машини повинна забезпечувати безпечне проходження машини, а також можливість обслуговування трубопроводів і гідрантів.

У проєкті приймається розміщення лісосмуг:
по зовнішньому периметру зрошуваного масиву;
уздовж основних польових доріг;
на межах, де вони не перешкоджають руху дощувальних машин;
з урахуванням напрямку панівних вітрів.

Лісосмути доцільно формувати з деревних і чагарникових порід, стійких до умов степової зони, посухи та періодичного дефіциту вологи. Вони повинні мати достатню щільність для зниження швидкості вітру, але не створювати надмірного затінення зрошуваних культур.

Таблиця 4.18 — Основні функції полезахисних лісосмуг на зрошуваному масиві

Функція лісосмуг	Значення для зрошуваної території
Зниження швидкості вітру	Зменшує вплив суховіїв і втрати води на випаровування
Захист ґрунту від ерозії	Запобігає видуванню верхнього родючого шару ґрунту
Поліпшення мікроклімату	Сприяє збереженню вологи та зменшенню температурних коливань
Захист посівів	Зменшує механічне пошкодження рослин вітром
Снігозатримання	Сприяє накопиченню вологи в осінньо-зимовий період
Просторова організація території	Формує межі полів і польових доріг

Організація території зрошуваного масиву також повинна враховувати розміщення гідрантів. Гідранти ГВ-1, ГВ-2 і ГВ-3 розміщуються біля відповідних поливних ділянок у місцях, зручних для підключення дощувальних машин. До кожного гідранта повинен бути забезпечений технологічний під'їзд. При цьому гідранти необхідно розміщувати так, щоб вони не перешкоджали руху сільськогосподарської техніки та були захищені від випадкового пошкодження.

Оглядові колодязі, вантузи та скидні пристрої розміщуються відповідно до рельєфу місцевості та схеми трубопровідної мережі. Вантузи встановлюються на підвищених ділянках трубопроводів, скидні пристрої — у понижених місцях, а оглядові колодязі — у вузлах розміщення арматури та місцях, де необхідний доступ для технічного обслуговування. До таких елементів також повинні бути передбачені проїзди або технологічні підходи.

Організація території має забезпечувати раціональне чергування поливних ділянок і сільськогосподарських культур. З урахуванням прийнятої структури посівних площ на зрошуваній ділянці розміщення культур повинно забезпечувати зручність поливу, дотримання сівозміни, можливість механізованого обробітку та ефективне використання води. Культури з найбільшою потребою у воді доцільно розміщувати на ділянках, де забезпечується найкраща водоподача і зручний графік поливів.

Під час організації території необхідно також передбачити заходи щодо охорони ґрунтів. Рух техніки повинен здійснюватися переважно по постійних польових дорогах, щоб зменшити ущільнення ґрунту на зрошуваних площах. На ділянках із можливим поверхневим стоком необхідно передбачити заходи проти розмиву, а на межах полів — збереження рослинного покриву або захисних смуг.

Таблиця 4.19 — Основні елементи організації території зрошуваного масиву

Елемент організації території	Проектне рішення
Загальна площа зрошення	100 га
Кількість поливних ділянок	3
Площа ділянки П-1	40 га
Площа ділянки П-2	40 га
Площа ділянки П-3	20 га
Спосіб поливу	Дощування машинами фронтальної дії
Розміщення доріг	По межах поливних ділянок і до гідротехнічних споруд
Ширина основних польових доріг	4–6 м
Ширина технологічних проїздів	3–4 м
Розміщення лісосмуг	По зовнішньому периметру масиву та вздовж основних доріг
Розміщення гідрантів	Біля поливних ділянок П-1, П-2, П-3
Доступ до вузлів мережі	Через польові дороги та технологічні проїзди

Таким чином, організація території зрошуваного масиву ФГ «Алгоритм» передбачає раціональний поділ площі на три поливні ділянки, розміщення польових доріг по межах полів, забезпечення під'їздів до насосної станції, гідрантів і вузлів мережі, а також створення системи полезахисних лісосмуг. Прийняті рішення забезпечують нормальну роботу дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation, зручність експлуатації зрошувальної мережі, захист ґрунтів від ерозійних процесів і раціональне використання зрошуваної території.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях є важливою складовою проєктування й експлуатації зрошувальної системи. Робота насосної станції, напірної трубопровідної мережі, гідрантів і дощувальних машин пов'язана з використанням електрообладнання, механізмів, води під тиском, рухомих частин машин і сільськогосподарської техніки. Тому під час експлуатації системи необхідно передбачити комплекс організаційних, технічних і профілактичних заходів, спрямованих на запобігання виробничому травматизму, аварійним ситуаціям і негативному впливу на довкілля.

У проєкті зрошення ФГ «Алгоритм» передбачено використання закритої напірної мережі, насосної станції та дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Основними джерелами потенційної небезпеки є електроприводи насосних агрегатів, підвищений тиск у трубопроводах, рух дощувальних машин, робота запірної арматури, а також можливість виникнення аварійних режимів під час подачі води. Дотримання вимог охорони праці забезпечує безпечну експлуатацію зрошувальної системи, збереження життя і здоров'я працівників та надійну роботу обладнання впродовж поливного сезону.

5.1 Організація безпечної експлуатації зрошувальної системи

Безпечна експлуатація зрошувальної системи є обов'язковою умовою її надійної роботи та запобігання виробничому травматизму. У проєкті ФГ «Алгоритм» передбачено використання закритої напірної зрошувальної мережі, насосної станції, гідрантів, запірної арматури та дощувальних

машин фронтальної дії Variant Irrigation. Робота такої системи пов'язана з дією води під тиском, електрообладнання, рухомих механізмів і сільськогосподарської техніки, тому експлуатація повинна здійснюватися відповідно до вимог охорони праці, виробничої інструкції та встановленого режиму роботи системи.

До експлуатації насосної станції, трубопровідної мережі та дощувальних машин допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, ознайомлені з будовою обладнання, правилами його запуску, зупинки та обслуговування. Персонал повинен знати схему зрошувальної мережі, місця розташування насосної станції, гідрантів, засувок, вантузів, скидних пристроїв і оглядових колодязів. Особливу увагу необхідно приділяти правилам роботи з електрообладнанням, оскільки насосні агрегати та дощувальні машини мають електричний привід.

Перед початком поливного сезону необхідно виконати технічний огляд усіх елементів зрошувальної системи. Перевіряється справність насосних агрегатів, електродвигунів, пускової апаратури, запірної арматури, зворотних клапанів, манометрів, гідрантів, вантузів і скидних пристроїв. Також проводиться огляд трубопровідної мережі, перевіряється герметичність з'єднань, стан оглядових колодязів і можливість вільного доступу до основних вузлів системи.

Пуск насосної станції допускається лише після перевірки готовності мережі до роботи. Перед запуском необхідно переконатися, що засувки перебувають у відповідному положенні, гідранти підключені правильно, трубопроводи заповнені водою, а в мережі відсутні пошкодження. Запуск насосів повинен здійснюватися плавно, без різкого підвищення тиску, щоб запобігти виникненню гідравлічних ударів. Після запуску насосної станції необхідно контролювати показники манометрів, рівномірність подачі води та роботу дощувальних машин.

Під час експлуатації зрошувальної системи забороняється виконувати ремонтні роботи на трубопроводах, гідрантах, засувках і фасонних частинах, якщо вони перебувають під тиском. Перед проведенням ремонту відповідна ділянка мережі повинна бути відключена запірною арматурою, тиск має бути знижений, а вода — скинута через скидні пристрої. Лише після цього дозволяється виконувати огляд, заміну або ремонт елементів мережі.

Дошувальні машини фронтальної дії повинні працювати на відкритій і підготовленій площі, де відсутні перешкоди для їх руху. На шляху руху машин не допускається перебування сторонніх осіб, сільськогосподарської техніки, тимчасових споруд, кабелів, дерев або інших предметів, які можуть спричинити аварійну зупинку чи пошкодження обладнання. Перед запуском машини необхідно перевірити стан ходової частини, водопровідних елементів, форсунок, електроприводів і системи керування.

Під час роботи дошувальних машин персонал повинен перебувати на безпечній відстані від рухомих частин, колісних візків, електрообладнання та водопровідних елементів. Забороняється торкатися електричних шаф, кабелів і струмопровідних частин без відключення живлення. У разі виявлення несправності машина повинна бути зупинена, а її обслуговування може виконуватися лише після повного відключення електроживлення та припинення подачі води.

Для забезпечення безпечної експлуатації системи необхідно організувати постійний контроль за її роботою. Основними контрольованими показниками є тиск у мережі, витрата води, рівномірність поливу, справність гідрантів, робота насосних агрегатів і стан дошувальних машин. Особливу увагу слід приділяти появі витоків води, різким коливанням тиску, стороннім шумам у насосах, нерівномірному руху машин або зниженню інтенсивності дощування.

Основні заходи безпечної експлуатації зрошувальної системи наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Заходи з організації безпечної експлуатації зрошувальної системи

Елемент системи	Основні заходи безпечної експлуатації
Насосна станція	Перевірка насосів, електродвигунів, манометрів, зворотних клапанів і запірної арматури перед запуском
Електрообладнання	Допуск до роботи лише проінструктованого персоналу, перевірка заземлення, заборона ремонту без відключення живлення
Магістральний трубопровід	Контроль герметичності, тиску, стану з'єднань і відсутності пошкоджень
Розподільчі трубопроводи	Перевірка засувки, вузлів відгалуження, оглядових колодязів і доступу до них
Гідранти	Правильне підключення дощувальних машин, перевірка герметичності та справності запірних елементів
Дощувальні машини	Огляд ходової частини, форсунок, електроприводів і системи керування перед початком роботи
Вантузи	Контроль видалення повітря з мережі під час заповнення трубопроводів
Скидні пристрої	Використання для спорожнення мережі перед ремонтом або після завершення сезону

Після завершення поливного сезону необхідно виконати підготовку системи до міжсезонного періоду. Трубопровідна мережа повинна бути спорожнена через скидні пристрої, насосне обладнання оглянуте, електрообладнання захищене від зволоження, а гідранти, вантузи та засувки перевірені на справність. Така підготовка дозволяє запобігти пошкодженню

обладнання в зимовий період і забезпечити готовність системи до наступного поливного сезону.

Отже, організація безпечної експлуатації зрошувальної системи ФГ «Алгоритм» передбачає проведення інструктажу персоналу, регулярний технічний огляд насосної станції, трубопроводів, гідрантів і дощувальних машин, контроль тиску та витрати води, недопущення ремонту обладнання під тиском і дотримання правил електробезпеки. Виконання цих заходів забезпечує надійну роботу зрошувальної системи, зменшує ризик аварійних ситуацій і створює безпечні умови праці під час поливного сезону.

5.2 Охорона праці та екологічна безпека під час експлуатації зрошувальної системи

Охорона праці та екологічна безпека під час експлуатації зрошувальної системи є важливими умовами її надійної, безпечної та ефективної роботи. Проєктована система ФГ «Алгоритм» включає насосну станцію, закриту напірну трубопровідну мережу, гідранти, запірну арматуру, вантузи, скидні пристрої та дощувальні машини фронтальної дії Variant Irrigation. Під час експлуатації цих елементів можуть виникати небезпечні виробничі фактори, пов'язані з електрообладнанням, водою під тиском, рухомими частинами машин, роботою насосних агрегатів і перебуванням працівників поблизу сільськогосподарської техніки.

Основними небезпеками під час експлуатації зрошувальної системи є можливість ураження електричним струмом, травмування рухомими частинами насосного обладнання та дощувальних машин, пошкодження трубопроводів унаслідок підвищеного тиску, виникнення гідравлічних ударів, падіння на слизьких поверхнях біля насосної станції або гідрантів, а також вплив шуму й вібрації під час роботи насосів. Тому експлуатація системи повинна здійснюватися лише працівниками, які пройшли

відповідний інструктаж з охорони праці, ознайомлені з будовою обладнання, правилами його запуску, зупинки та безпечного обслуговування.

Особливу увагу необхідно приділяти електробезпеці. Насосна станція, електродвигуни насосних агрегатів і електроприводи дощувальних машин повинні мати справне заземлення, захисне відключення, надійну ізоляцію кабелів і закриті електричні шафи. Забороняється відкривати електрощити, виконувати ремонтні роботи або торкатися струмопровідних частин без повного відключення електроживлення. Роботи з електрообладнанням повинні виконуватися лише працівниками, які мають відповідний допуск і забезпечені засобами індивідуального захисту.

Під час роботи насосної станції необхідно контролювати тиск у напірній мережі, справність манометрів, зворотних клапанів, запірної арматури та герметичність з'єднань. Пуск і зупинка насосів повинні виконуватися плавно, без різкої зміни тиску, щоб запобігти гідравлічним ударам. У разі появи стороннього шуму, вібрації, перегрівання електродвигуна, витоку води або різкого падіння тиску роботу обладнання необхідно припинити та провести огляд системи.

Під час експлуатації трубопровідної мережі забороняється виконувати ремонтні роботи на ділянках, які перебувають під тиском. Перед ремонтом відповідна частина мережі повинна бути відключена запірною арматурою, тиск має бути знижений, а вода скинута через скидні пристрої. Лише після цього дозволяється виконувати демонтаж арматури, огляд гідрантів, заміну фасонних частин або ремонт трубопроводів. Такий порядок роботи дає змогу уникнути травмування працівників і пошкодження обладнання.

Під час роботи дощувальних машин фронтальної дії необхідно стежити, щоб у зоні їх руху не перебували сторонні особи, транспортні засоби, сільськогосподарська техніка, тимчасові споруди або інші

перешкоди. Перед запуском машини слід перевірити справність ходової частини, електроприводів, системи керування, трубопровідних елементів і форсунок. У разі виявлення несправності машина повинна бути зупинена, подача води припинена, а електроживлення відключене. Обслуговування рухомих частин під час роботи машини не допускається.

Працівники, які обслуговують зрошувальну систему, повинні бути забезпечені спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, а під час виконання електротехнічних робіт — діелектричними засобами захисту. Робочі місця біля насосної станції, гідрантів, оглядових колодязів і вузлів арматури повинні утримуватися в чистоті, бути вільними від сторонніх предметів і мати безпечний доступ для обслуговування.

Екологічна безпека під час експлуатації зрошувальної системи полягає у раціональному використанні водних ресурсів, охороні ґрунтів від перезволоження, ерозії та вторинного засолення, а також у недопущенні забруднення джерела зрошення. Для умов степової зони Дніпропетровської області це має особливе значення, оскільки надмірне або неправильно організоване зрошення може призвести до погіршення водно-повітряного режиму ґрунту, зниження його родючості та підняття рівня ґрунтових вод.

Одним із головних заходів екологічної безпеки є дотримання розрахункового режиму зрошення. Поливи повинні проводитися відповідно до встановлених поливних норм, строків і потреб сільськогосподарських культур. Надмірна подача води не допускається, оскільки вона може спричинити застій води на поверхні поля, вимивання поживних речовин, ущільнення ґрунту та розвиток процесів вторинного засолення.

Для запобігання ерозії необхідно забезпечувати рівномірний розподіл поливної води по площі поля. Інтенсивність дощу дощувальних машин не повинна перевищувати водопроникність ґрунту. Якщо вода подається надмірно інтенсивно, можливе утворення поверхневого стоку, розмивання ґрунту та пошкодження посівів. Тому під час експлуатації машин необхідно

контролювати швидкість їх руху, справність форсунок і рівномірність дощування.

Важливим природоохоронним заходом є контроль якості зрошувальної води. Вода, що подається з річки Оріль, повинна бути придатною для зрошення сільськогосподарських культур. Необхідно контролювати її мінералізацію, вміст завислих речовин, солей та інших домішок, які можуть негативно впливати на ґрунт і рослини. У разі погіршення якості води режим зрошення повинен бути скоригований.

Для захисту водного джерела від забруднення забороняється скидати у річку залишки паливно-мастильних матеріалів, промивні води, сміття, агрохімікати або інші забруднювальні речовини. Заправка, ремонт і технічне обслуговування сільськогосподарської техніки повинні виконуватися у спеціально відведених місцях, віддалених від водозабору. На території насосної станції необхідно запобігати витокам мастил, пального та технічних рідин, а відходи технічного обслуговування слід збирати й передавати на утилізацію.

Отже, охорона праці та екологічна безпека під час експлуатації зрошувальної системи ФГ «Алгоритм» передбачають комплекс організаційних, технічних і природоохоронних заходів. До них належать інструктаж працівників, дотримання правил електробезпеки, контроль тиску в мережі, заборона ремонту обладнання під тиском, безпечне обслуговування дощувальних машин, раціональне використання води, запобігання ерозії, перезволоженню та забрудненню річки Оріль. Виконання цих заходів забезпечує безпечні умови праці, надійну роботу системи та збереження природного середовища.

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації зрошувальної системи

Безпека в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації зрошувальної системи є важливою складовою загальної системи охорони праці. Проєктована зрошувальна система ФГ «Алгоритм» включає насосну станцію, закриту напірну трубопровідну мережу, гідранти, запірну арматуру, вантузи, скидні пристрої та дощувальні машини фронтальної дії Variant Irrigation. У процесі роботи цих елементів можуть виникати аварійні та небезпечні ситуації, пов'язані з пошкодженням трубопроводів, різким підвищенням тиску, відмовою насосного обладнання, ураженням електричним струмом, несприятливими погодними умовами, пожежами або підтопленням окремих ділянок.

До можливих надзвичайних ситуацій під час експлуатації зрошувальної системи належать аварійне пошкодження напірного трубопроводу, розрив або розгерметизація з'єднань, відмова насосного агрегату, несправність електрообладнання, коротке замикання, пожежа на насосній станції, раптове зниження або підвищення тиску в мережі, гідравлічний удар, витік паливно-мастильних матеріалів, а також небезпечні природні явища — сильний вітер, гроза, злива, град або підтоплення території.

Однією з найбільш імовірних аварійних ситуацій є пошкодження трубопровідної мережі. Воно може виникнути внаслідок перевищення допустимого тиску, гідравлічного удару, механічного пошкодження під час польових робіт або зношення окремих елементів арматури. У разі виявлення витіку води, падіння тиску або розмивання ґрунту в місці прокладання трубопроводу необхідно негайно зупинити подачу води, вимкнути насосну станцію, перекрити відповідну ділянку запірною

арматурою та скинути тиск через скидні пристрої. До усунення пошкодження експлуатація аварійної ділянки забороняється.

Для запобігання гідравлічним ударам необхідно забезпечувати плавний пуск і зупинку насосів, поступове відкривання та закривання засувок, справність зворотних клапанів і постійний контроль тиску в мережі. Різке перекриття потоку води або раптова зупинка насосного агрегату може спричинити короточасне підвищення тиску, що є небезпечним для трубопроводів, гідрантів і фасонних частин. Тому всі операції з регулювання подачі води повинні виконуватися поступово, відповідно до інструкції з експлуатації.

Особливу небезпеку становлять аварії, пов'язані з електрообладнанням насосної станції та дощувальних машин. У разі появи запаху горілої ізоляції, іскріння, перегрівання електродвигуна, спрацювання захисту або короткого замикання необхідно негайно відключити електроживлення, припинити роботу обладнання та повідомити відповідальну особу. Самостійне відкривання електрощитів або ремонт електрообладнання працівниками без відповідного допуску забороняється. Роботи з електричними установками повинні виконуватися лише кваліфікованим персоналом після повного знеструмлення обладнання.

У разі пожежі на насосній станції або поблизу електрообладнання необхідно негайно припинити роботу насосів, відключити електроживлення, повідомити пожежно-рятувальну службу та розпочати гасіння наявними первинними засобами пожежогасіння. Для гасіння електрообладнання не допускається використання води до повного його знеструмлення. На насосній станції повинні бути передбачені вогнегасники, пожежний інвентар, вільні проходи до виходів і доступ до засобів аварійного відключення електроживлення.

Небезпечними для роботи зрошувальної системи є також несприятливі погодні умови. Під час грози, сильного вітру, шквалу або інтенсивних опадів роботу дощувальних машин необхідно припинити. Гроза створює підвищену небезпеку ураження електричним струмом, а сильний вітер може порушити рівномірність дощування, пошкодити елементи машини або спричинити її аварійну зупинку. Після завершення небезпечного погодного явища необхідно провести огляд дощувальних машин, електропроводки, гідрантів і трубопровідної мережі.

У разі підтоплення території насосної станції, оглядових колодязів або вузлів арматури необхідно припинити експлуатацію відповідної ділянки, відключити електрообладнання, обмежити доступ працівників до небезпечної зони та організувати відведення води. Робота електрообладнання у підтоплених приміщеннях або колодязях є неприпустимою. Відновлення роботи системи допускається лише після усунення підтоплення, перевірки справності електрообладнання та огляду всіх елементів мережі.

При виникненні витоку паливно-мастильних матеріалів або технічних рідин необхідно негайно припинити роботи в місці забруднення, локалізувати розлив, зібрати забруднені матеріали та не допустити їх потрапляння у ґрунт, зрошувальну воду або річку Оріль. Забруднений ґрунт чи використані матеріали повинні бути зібрані та передані для подальшої утилізації відповідно до встановлених вимог. Особливо важливо не допустити потрапляння нафтопродуктів у зону водозабору.

Для забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях на об'єкті повинні бути визначені відповідальні особи за експлуатацію насосної станції, електрообладнання, трубопровідної мережі та дощувальних машин. Персонал повинен знати порядок дій у разі аварії, місця розташування засувок, аварійних вимикачів, скидних пристроїв, засобів пожежогасіння та аптечки першої допомоги. На насосній станції доцільно розмістити схему

зрошувальної мережі, інструкцію з аварійного відключення обладнання та телефони екстрених служб.

У разі виникнення аварійної ситуації працівники повинні діяти у такій послідовності: припинити роботу обладнання, відключити електроживлення у разі потреби, перекрити подачу води, обмежити доступ людей до небезпечної зони, повідомити відповідальну особу, а за необхідності — викликати аварійні або рятувальні служби. Ліквідація наслідків аварії повинна проводитися лише після усунення безпосередньої небезпеки та створення безпечних умов для роботи персоналу.

Важливим профілактичним заходом є регулярний технічний огляд системи. Перед початком поливного сезону необхідно перевіряти стан насосів, електродвигунів, кабельних ліній, манометрів, засувок, гідрантів, вантузів, скидних пристроїв і оглядових колодязів. Упродовж сезону слід контролювати тиск у мережі, герметичність з'єднань, роботу дощувальних машин і стан території біля гідротехнічних споруд. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє запобігти аварійним ситуаціям і зменшити ризик травмування працівників.

Таким чином, безпека в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації зрошувальної системи ФГ «Алгоритм» забезпечується завдяки своєчасному технічному контролю, справності насосного та електричного обладнання, дотриманню правил роботи з водою під тиском, наявності запірної арматури й скидних пристроїв, а також чіткій організації дій персоналу у разі аварії. Основними заходами є негайне припинення роботи системи при виникненні небезпеки, відключення електроживлення, перекриття подачі води, повідомлення відповідальних осіб і недопущення працівників до небезпечної зони. Виконання цих вимог забезпечує захист персоналу, обладнання, зрошуваних земель і водного джерела від негативних наслідків надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розроблено проєкт зрошення дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation для фермерського господарства «Алгоритм» Дніпровського району Дніпропетровської області. Проєкт спрямований на підвищення ефективності використання сільськогосподарських земель, стабілізацію врожайності культур і зменшення негативного впливу посушливих кліматичних умов степової зони.

У першому розділі було розглянуто природні умови району проєктування. Встановлено, що територія розташована в зоні недостатнього та нестійкого зволоження, де випаровуваність у вегетаційний період значно перевищує кількість атмосферних опадів. Кліматичні умови району характеризуються високими літніми температурами, нерівномірним розподілом опадів, частими суховіями та значним дефіцитом вологи. Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами, які мають високу природну родючість, однак для повного використання їх продуктивного потенціалу потребують регульованого водного режиму. Джерелом зрошення прийнято поверхнєве водне джерело басейну річки Оріль.

У другому розділі було охарактеризовано сільськогосподарське виробництво ФГ «Алгоритм». Господарство має зерново-технічний напрям виробництва з включенням зернобобових і кормових культур. Для зрошуваної ділянки прийнято структуру посівних площ, до якої входять озима пшениця, кукурудза на зерно, ярий ячмінь, соя, соняшник, люцерна та кукурудза на силос. Обґрунтовано необхідність зрошення, оскільки в умовах природного зволоження врожайність культур істотно залежить від кількості опадів і їх розподілу протягом вегетаційного періоду.

У третьому розділі було визначено режим зрошення та техніку поливу сільськогосподарських культур. Для розрахунків прийнято посушливий рік 75 % забезпеченості. За формулою Іванова визначено сумарну випаровуваність за вегетаційний період, яка становить 809 мм, тоді як сума опадів — 272 мм. Індекс посушливості дорівнює 2,97, що підтверджує потребу в штучному зволоженні. Було визначено поливні та зрошувальні норми для культур сівозміни. Середньозважена зрошувальна норма нетто становить 1490 м³/га, а з урахуванням ККД системи — 1656 м³/га. Загальна сезонна потреба у воді для площі 100 га становить 149000 м³ нетто та 165556 м³ брутто.

Для поливу запроєктованої сівозміни прийнято спосіб дощування дощувальними машинами фронтальної дії Variant Irrigation. Такий спосіб є доцільним для прямокутних поливних ділянок, забезпечує рівномірний розподіл води, можливість механізації процесу поливу та ефективне використання водних ресурсів. Було розроблено графік поливів, за яким найбільша потреба у воді припадає на червень і липень. У цей період використовується близько 71,8 % сезонного об'єму зрошувальної води.

У четвертому розділі було виконано проєктування та гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі. Загальна площа зрошуваного масиву становить 100 га, яка поділяється на три поливні ділянки: П-1 — 40 га, П-2 — 40 га і П-3 — 20 га. Для їх обслуговування прийнято три дощувальні машини: ДМ-1, ДМ-2 і ДМ-3. Розрахункова витрата однієї машини становить 55 л/с, а при одночасній роботі трьох машин загальна витрата системи дорівнює 165 л/с, або 594 м³/год. З урахуванням коефіцієнта запасу 1,10 розрахункова витрата для підбору насосного обладнання становить 181,5 л/с, або 653,4 м³/год.

За результатами гідравлічного розрахунку для мережі прийнято поліетиленові напірні трубопроводи діаметром 400 мм, 355 мм і 250 мм. Швидкість руху води в трубопроводах становить 1,11–1,31 м/с, що

відповідає допустимим значенням для закритих напірних зрошувальних мереж. Втрати напору на найбільш несприятливому напрямку до гідранта ГВ-3 становлять 9,17 м, а з урахуванням місцевих втрат — 10,1 м. Необхідний напір насосної станції прийнято 60 м.

Для подачі води в систему прийнято насосну станцію з трьома відцентровими насосними агрегатами, з яких два є робочими, а один — резервним. Подача одного насоса становить 326,7 м³/год, напір — 60 м, потужність електродвигуна — 90 кВт. Така схема забезпечує надійну роботу системи, можливість резервування обладнання та гнучке регулювання водоподачі залежно від кількості працюючих дощувальних машин.

Також у роботі було передбачено основні гідротехнічні споруди та елементи зрошувальної мережі: водозабірну споруду, насосну станцію, магістральний і розподільчі трубопроводи, гідранти, запірну арматуру, вантузи, скидні пристрої та оглядові колодязі. Запроєктовано організацію території зрошуваного масиву з урахуванням розміщення польових доріг, технологічних проїздів, гідрантів, лісосмуг і поливних ділянок. Прийняті рішення забезпечують зручність експлуатації системи, доступ до основних вузлів мережі та безперешкодну роботу дощувальних машин фронтальної дії.

У п'ятому розділі було розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації зрошувальної системи. Визначено основні небезпечні фактори, пов'язані з роботою насосної станції, електрообладнання, трубопровідної мережі, гідрантів і дощувальних машин. Запропоновано заходи щодо безпечної експлуатації системи, дотримання електробезпеки, недопущення ремонту обладнання під тиском, запобігання аварійним ситуаціям, пожежам, гідравлічним ударам і забрудненню водного джерела.

Отже, у результаті виконання роботи було розроблено технічно обґрунтований проєкт зрошення для ФГ «Алгоритм» із застосуванням сучасних дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation. Запроєктowana система забезпечує подачу необхідної кількості води до сільськогосподарських культур, підтримання оптимального водного режиму ґрунту, підвищення стабільності врожайності та раціональне використання водних ресурсів. Прийняті технічні рішення є доцільними для умов Дніпровського району Дніпропетровської області та можуть бути використані для практичного впровадження зрошення в господарстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.4-1-99. Меліоративні системи та споруди. — Київ: Держбуд України, 2000.
2. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. — Київ: Мінрегіон України, 2013.
3. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. — Київ: Мінрегіон України, 2017.
4. ДБН А.2.2-3:2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. — Київ: Мінрегіон України, 2014.
5. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
6. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. — Київ: Мінекономрозвитку України, 2014.
7. ДСТУ ISO 4427-1:2018. Пластмасові трубопровідні системи для водопостачання. Поліетилен. Частина 1. Загальні положення. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
8. ДСТУ ISO 4427-2:2018. Пластмасові трубопровідні системи для водопостачання. Поліетилен. Частина 2. Труби. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
9. Водний кодекс України: Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР.
10. Закон України «Про меліорацію земель» від 14.01.2000 № 1389-XIV.
11. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII.
12. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-XII.
13. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI.

14. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017 № 2059-VIII.
15. Земельний кодекс України: Закон України від 25.10.2001 № 2768-III.
16. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві: НПАОП 01.0-1.01-12. — Київ, 2012.
17. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: НПАОП 40.1-1.21-98. — Київ, 1998.
18. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. — Київ: Мінпаливенерго України, 2006.
19. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. — Київ, 2014.
20. Ромащенко М. І., Шевченко А. М., Балюк С. А. Зрошення земель в Україні: стан та шляхи поліпшення. — Київ: Аграрна наука, 2000.
21. Ромащенко М. І., Жовтоног О. І., Сайдак Р. В. Наукові засади розвитку зрошення земель в Україні. — Київ: Аграрна наука, 2012.
22. Ромащенко М. І., Шатковський А. П., Рябков С. В. Мікрозрошення сільськогосподарських культур. — Київ: Аграрна наука, 2014.
23. Ушкаренко В. О. Зрошуване землеробство. — Київ: Урожай, 1994.
24. Ушкаренко В. О., Нікіщенко В. Л., Голобородько С. П. Практикум із зрошувального землеробства. — Херсон: Айлант, 2001.
25. Коваленко П. І., Ромащенко М. І. Меліорація земель. — Київ: Вища школа, 2002.
26. Коваленко П. І. Експлуатація меліоративних систем. — Київ: Урожай, 1989.
27. Бондаренко В. Л., Морозов В. В. Проектування та експлуатація зрошувальних систем. — Херсон: ХДАУ, 2007.
28. Морозов В. В., Безніцька Н. В., Козленко Є. В. Основи проектування зрошувальних систем. — Херсон: Олді-плюс, 2014.

- 29.Морозов В. В. Еколого-меліоративний моніторинг зрошуваних земель. — Херсон: ХДУ, 2010.
- 30.Гончаренко Г. Є., Гончаренко М. С. Гідравліка і гідравлічні машини. — Київ: Вища школа, 2004.
- 31.Башта Т. М. Гідравліка, гідравлічні машини та гідроприводи. — Київ: Вища школа, 1982.
- 32.Лукінюк М. В. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи. — Київ: НТУУ «КПІ», 2006.
- 33.Лобода Н. С. Гідрологія суші. — Одеса: Екологія, 2010.
- 34.Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії. — Київ: Ніка-Центр, 2012.
- 35.Клименко М. О., Прищепя А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля. — Київ: Академія, 2006.
- 36.Балюк С. А., Медведєв В. В., Тараріко О. Г. Ґрунтові ресурси України: стан і напрями раціонального використання. — Київ: Аграрна наука, 2010.
- 37.Медведєв В. В. Моніторинг ґрунтів України. Концепція, попередні результати, завдання. — Харків: Антіква, 2002.
- 38.Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. — Київ: Аграрна наука, 2005.
- 39.Носко Б. С. Родючість ґрунтів і сучасні системи удобрення. — Київ: Аграрна наука, 2006.
- 40.Тараріко О. Г. Агроекологічні основи ґрунтозахисного землеробства. — Київ: Урожай, 1990.
- 41.Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. — Львів: НВФ «Українські технології», 2002.

- 42.Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. — Львів: НВФ «Українські технології», 2006.
- 43.Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур. — Львів: НВФ «Українські технології», 2014.
- 44.Сайко В. Ф., Малієнко А. М. Системи обробітку ґрунту в Україні. — Київ: ЕКМО, 2007.
- 45.Барабаш М. Б. Кукурудза: біологія, вирощування, зрошення. — Київ: Урожай, 1994.
- 46.Каленська С. М., Шевчук О. Я., Дмитришак М. Я. Рослинництво. — Київ: НАУ, 2005.
- 47.Гудзь В. П., Примак І. Д., Будьонний Ю. В. Землеробство. — Київ: Центр учбової літератури, 2010.
- 48.Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України / за ред. Б. С. Носка. — Київ: Урожай, 1994.
- 49.Агрокліматичний довідник по Дніпропетровській області. — Дніпропетровськ: Гідрометеовидав, 2011.
- 50.Національний атлас України / голов. ред. Л. Г. Руденко. — Київ: ДНВП «Картографія», 2007.
- 51.Атлас ґрунтів Української РСР / за ред. Н. К. Крупського, М. І. Полупана. — Київ: Урожай, 1979.
- 52.Державне агентство водних ресурсів України. Інформаційні матеріали щодо водних ресурсів України. — Київ, 2024.
- 53.Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. Публічна кадастрова карта України. — Електронний ресурс.
- 54.Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Методичні рекомендації щодо дій населення у надзвичайних ситуаціях. — Київ, 2023.

- 55.Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні. — Київ, 2022.
- 56.Басейнове управління водних ресурсів річок Приазов'я. Матеріали щодо стану поверхневих вод Дніпропетровської області. — Електронний ресурс.
- 57.Variant Irrigation. Технічні характеристики дощувальних машин фронтальної дії. — Електронний ресурс.
- 58.Державний реєстр юридичних осіб, фізичних осіб-підприємців та громадських формувань. Відомості про ФГ «Алгоритм». — Електронний ресурс.

ДОДАТКИ

Додаток А

Відомість неуккомплектованого графіка поливу польової сівозміни,
розрахованої на 75 % забезпеченість

№ поля	Сільськогосподарська культура	Площа поля, га	М, м³/га	№ поливу	т, м³/га	Строки поливу початок	Строки поливу кінець	Тривалість поливу, діб	Q, л/с
1	Озима пшениця	25,0	1020	1	340	10.05.2026	12.05.2026	3	
				2	340	01.06.2026	03.06.2026	3	
				3	340	15.06.2026	17.06.2026	3	55,0
2	Кукурудза на зерно	20,0	2500	1	500	10.06.2026	12.06.2026	3	
				2	500	25.06.2026	27.06.2026	3	
				3	500	10.07.2026	12.07.2026	3	
				4	500	25.07.2026	27.07.2026	3	
				5	500	10.08.2026	12.08.2026	3	55,0
3	Ярий ячмінь	10,0	600	1	300	15.05.2026	15.05.2026	1	
				2	300	05.06.2026	05.06.2026	1	55,0
4	Соя	15,0	1600	1	400	15.06.2026	16.06.2026	2	
				2	400	01.07.2026	02.07.2026	2	
				3	400	15.07.2026	16.07.2026	2	
				4	400	01.08.2026	02.08.2026	2	55,0
5	Соняшник	20,0	1050	1	350	20.06.2026	21.06.2026	2	
				2	350	10.07.2026	11.07.2026	2	
				3	350	01.08.2026	02.08.2026	2	55,0
6	Люцерна	5,0	2500	1	500	01.05.2026	01.05.2026	1	
				2	500	01.06.2026	01.06.2026	1	
				3	500	25.06.2026	25.06.2026	1	
				4	500	20.07.2026	20.07.2026	1	
				5	500	15.08.2026	15.08.2026	1	55,0
7	Кукурудза на силос	5,0	2000	1	500	10.06.2026	10.06.2026	1	
				2	500	01.07.2026	01.07.2026	1	
				3	500	15.07.2026	15.07.2026	1	
				4	500	01.08.2026	01.08.2026	1	55,0

Примітка. У відомості неуккомплектованого графіка поливів строки поливу прийняті відповідно до агротехнічних потреб культур без остаточної ув'язки з черговістю роботи дощувальних машин і насосної станції. Тривалість поливу визначена з урахуванням площі поля, поливної норми та продуктивності однієї дощувальної машини фронтальної дії Variant Irrigation.

Загальна площа польової сівозміни становить 100 га. Сезонна зрошувальна норма нетто за всіма культурами становить 149000 м³. Найбільша кількість поливів припадає на кукурудзу на зерно та люцерну, оскільки ці культури мають підвищену потребу у воді впродовж вегетаційного періоду.

Додаток Б

Відомість укомплектованого графіка поливу польової сівозміни,
розрахованої на 75 %-ну забезпеченість

№ поля	Сільськогосподарська культура	Площа поля, га	М, м³/га	№ поливу	т, м³/га	Початок поливу	Кінець поливу	Тривалість поливу, діб	Q, л/с
1	Озима пшениця	25,0	1020	1	340	10.05.2026	12.05.2026	3	55,0
				2	340	01.06.2026	03.06.2026	3	
				3	340	15.06.2026	17.06.2026	3	
2	Кукурудза на зерно	20,0	2500	1	500	10.06.2026	12.06.2026	3	55,0
				2	500	25.06.2026	27.06.2026	3	
				3	500	10.07.2026	12.07.2026	3	
				4	500	25.07.2026	27.07.2026	3	
				5	500	10.08.2026	12.08.2026	3	
3	Ярий ячмінь	10,0	600	1	300	15.05.2026	15.05.2026	1	55,0
				2	300	05.06.2026	05.06.2026	1	
4	Соя	15,0	1600	1	400	15.06.2026	16.06.2026	2	55,0
				2	400	01.07.2026	02.07.2026	2	
				3	400	15.07.2026	16.07.2026	2	
				4	400	01.08.2026	02.08.2026	2	
5	Соняшник	20,0	1050	1	350	20.06.2026	21.06.2026	2	55,0
				2	350	10.07.2026	11.07.2026	2	
				3	350	01.08.2026	02.08.2026	2	
6	Люцерна	5,0	2500	1	500	01.05.2026	01.05.2026	1	55,0
				2	500	01.06.2026	01.06.2026	1	
				3	500	25.06.2026	25.06.2026	1	
				4	500	20.07.2026	20.07.2026	1	
				5	500	15.08.2026	15.08.2026	1	
7	Кукурудза на силос	5,0	2000	1	500	10.06.2026	10.06.2026	1	55,0
				2	500	01.07.2026	01.07.2026	1	
				3	500	15.07.2026	15.07.2026	1	
				4	500	01.08.2026	01.08.2026	1	

Примітка. Укомплектований графік поливів складено з урахуванням прийнятої кількості дощувальних машин фронтальної дії Variant Irrigation та їх продуктивності. У проекті передбачено роботу трьох дощувальних машин із витратою однієї машини 55 л/с. Загальна розрахункова витрата системи при одночасній роботі трьох машин становить 165 л/с. Прийнята схема забезпечує своєчасне проведення поливів на площі 100 га без перевантаження насосної станції та трубопроводної мережі.

Додаток В

$Q_{\max}=138 \text{ л/с}$ $F=100.0 \text{ га}$ $q=1.38 \text{ л/(с*га)}$

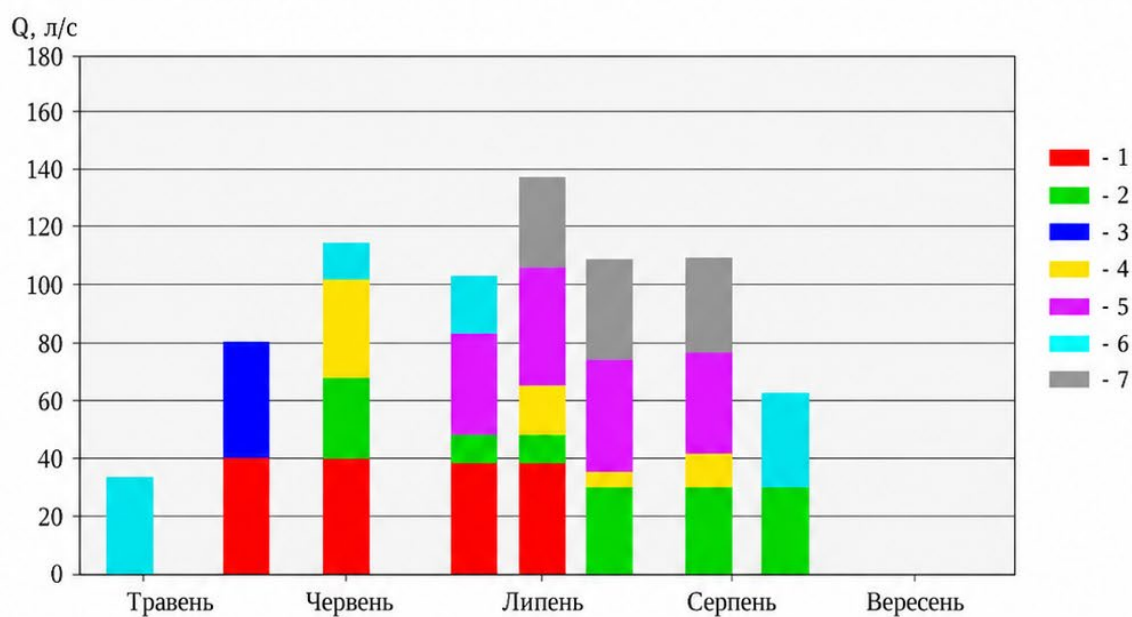


Рисунок В.1 – Неукomплектований графік поливу

$Q_{\max}=116 \text{ л/с}$ $F=100.0 \text{ га}$ $q=1.16 \text{ л/(с*га)}$

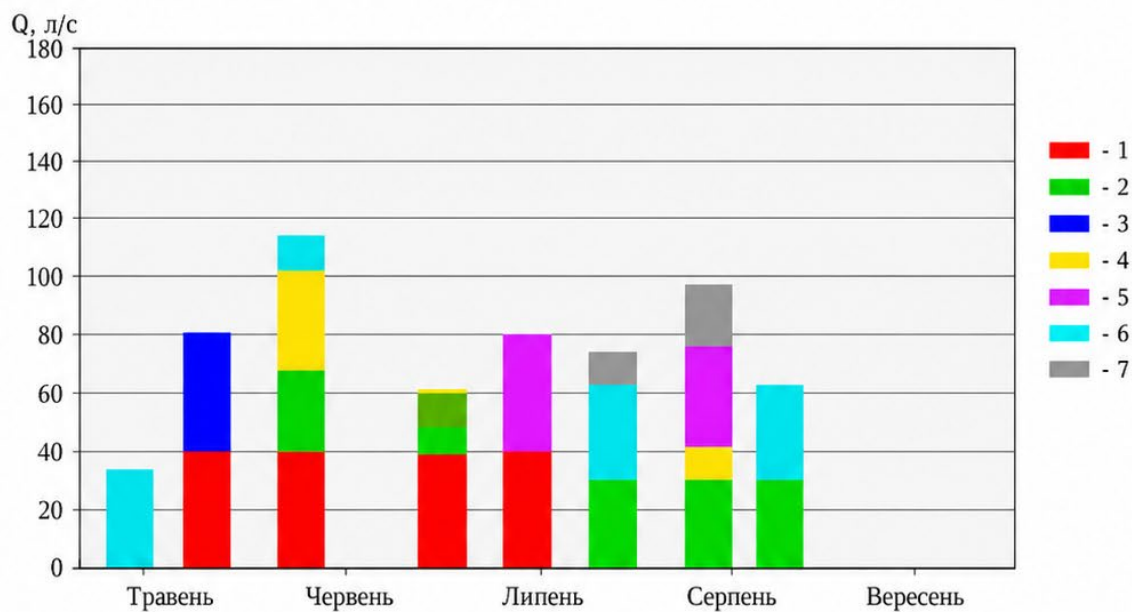


Рисунок В.2 – Укомплектований графік поливу