

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра водогосподарської інженерії

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **Проект зрошення дощувальними машинами
Zimmatic в товаристві з обмеженою відповідальністю
«Оріль-Агро» Самарівського 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»

Олексій ЛАПОЧКІН

(прізвище та ініціали)

Керівник : доц. Віктор ДОЦЕНКО

(прізвище та ініціали)

Рецензент: _____
(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

доцент _____ Андрій ТКАЧУК

«__» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу здобувачу вищої освіти
 Лапочкіну Олексію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: **Проект зрошення дощувальними машинами
 Zimmatic в товаристві з обмеженою відповідальністю
 «Оріль-Агро» Самарівського 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 : «15» червня 2026 р.
2. Вихідні дані до роботи
Топографічні вишукування ділянки проектування.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити) :
Вступ. 1. Природно-кліматичні фактори. 2. Специфіка аграрно-виробничої діяльності. 3. Параметри поливу. 4. Проектування та інженерний розрахунок системи зрошення. 5. Заходи з охорони. Висновки. Перелік джерел посилання. 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	ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТУ	24.04.2026 р.	
2	ПРИРОДНІ УМОВИ РАЙОНУ ПРОЄКТУВАННЯ	30.04.2026 р.	
3	ХАРАКТЕРИСТИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТОВ «ОРІЛЬ-АГРО»	14.05.2026 р.	
4	РЕЖИМ ЗРОШЕННЯ І ТЕХНІКА ПОЛИВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	20.05.2026 р.	
5	ПРОЄКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	05.06.2026 р.	
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	12.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Олексій ЛАПОЧКІН
(підпис)Керівник роботи _____ Віктор ДОЦЕНКО
(підпис)

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	ПРИРОДНІ УМОВИ РАЙОНУ ПРОЄКТУВАННЯ	9
1.1	Географічне положення та загальна характеристика території	9
1.2	Геоморфологічна характеристика поверхні ділянки зрошення	11
1.3	Геологічні та гідрогеологічні умови	13
1.4	Кліматична характеристика району проєктування	16
1.5	Характеристика ґрунтового покриву	19
1.6	Джерело зрошення та оцінка якості зрошувальної води	23
2	ХАРАКТЕРИСТИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТОВ «ОРІЛЬ-АГРО»	27
2.1	Загальна характеристика господарства	27
2.2	Характеристика земельного фонду та сільськогосподарських угідь	29
2.3	Обґрунтування необхідності зрошення	32
2.4	Структура посівних площ і характеристика культур сівозміни	35
3	РЕЖИМ ЗРОШЕННЯ І ТЕХНІКА ПОЛИВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	39
3.1	Вибір розрахункового року заданої забезпеченості	39
3.2	Визначення водоспоживання сільськогосподарських культур	42
3.3	Розрахунок зрошувальних і поливних норм	47
3.4	Визначення строків і кількості поливів	51
3.5	Обґрунтування способу поливу	56
3.6	Технічна характеристика дощувальних машин Zimmatic	60
3.7	Розрахунок продуктивності дощувальних машин Zimmatic	67
4	ПРОЄКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	72
4.1	Вибір схеми зрошувальної мережі	72
4.2	Проектування конструкції закритої зрошувальної мережі	76
4.3	Визначення розрахункових витрат води	82
4.4	Гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі	86
4.5	Підбір насосного обладнання	92

4.6	Проектування гідротехнічних споруд на зрошувальній мережі	95
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	102
5.1	Загальна характеристика системи охорони праці в ТОВ «Оріль-Агро»	102
5.2	Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час експлуатації зрошувальної системи	105
5.3	Вимоги безпеки під час експлуатації насосного обладнання	108
	ВИСНОВКИ	112
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	116
	ДОДАТКИ	121

ВСТУП

Зрошення є одним із найбільш ефективних меліоративних заходів, що забезпечує стабільне виробництво сільськогосподарської продукції в умовах недостатнього та нестійкого природного зволоження. Для степової зони України, зокрема Дніпропетровської області, питання раціонального використання водних ресурсів і впровадження сучасних способів поливу має особливо важливе значення. Нерівномірний розподіл атмосферних опадів протягом року, часті посушливі періоди, високі літні температури та значне випаровування з поверхні ґрунту зумовлюють необхідність застосування штучного зволоження для підтримання оптимального водного режиму сільськогосподарських культур.

В умовах сучасного аграрного виробництва важливе значення має не лише впровадження зрошення, а й правильний вибір ефективної, надійної та економічно доцільної поливної техніки. Одним із перспективних напрямів є використання дощувальних машин кругової або фронтальної дії, які дають змогу рівномірно розподіляти воду по площі поля, зменшувати втрати води, підвищувати продуктивність праці та забезпечувати сприятливі умови для росту й розвитку рослин. До такої техніки належать дощувальні машини Zimmatic, які застосовуються для зрошення польових культур і характеризуються надійністю роботи, високим рівнем автоматизації та можливістю адаптації до різних умов господарювання.

Товариство з обмеженою відповідальністю «Оріль-Агро» розташоване в Самарівському районі Дніпропетровської області, територія якого належить до зони ризикованого землеробства. Природно-кліматичні умови району характеризуються недостатньою кількістю опадів у вегетаційний період, високою повторюваністю посух і суховіїв, значними літніми температурами та нерівномірним зволоженням ґрунту. Такі умови негативно впливають на формування врожаю сільськогосподарських

культур і потребують впровадження системи зрошення як важливого чинника стабілізації аграрного виробництва.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності розроблення проєктних рішень щодо організації зрошення сільськогосподарських угідь ТОВ «Оріль-Агро» із застосуванням дощувальних машин Zimmatic. Проєктування такої системи дає змогу забезпечити своєчасне та рівномірне зволоження ґрунту, підвищити ефективність вирощування сільськогосподарських культур, зменшити залежність урожайності від несприятливих погодних умов та створити передумови для раціонального використання земельних і водних ресурсів.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення проєкту зрошення сільськогосподарських угідь дощувальними машинами Zimmatic у товаристві з обмеженою відповідальністю «Оріль-Агро» Самарівського району Дніпропетровської області.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- надати характеристику природних умов району проєктування;
- охарактеризувати геоморфологічні, геологічні, гідрогеологічні, кліматичні та ґрунтові умови території;
- визначити джерело зрошення та надати оцінку якості зрошувальної води;
- охарактеризувати сільськогосподарське виробництво ТОВ «Оріль-Агро»;
- обґрунтувати необхідність зрошення сільськогосподарських угідь господарства;
- визначити структуру культур, що передбачаються для вирощування в умовах зрошення;
- розрахувати режим зрошення сільськогосподарських культур;
- обґрунтувати вибір способу поливу та дощувальних машин Zimmatic;
- виконати розрахунок продуктивності дощувальних машин;
- запроєктувати закриту зрошувальну мережу;

- виконати гідравлічний розрахунок трубопроводів зрошувальної мережі;
- підібрати необхідні елементи зрошувальної системи та насосне обладнання;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації зрошувальної системи.

Об’єктом дослідження є процес зрошення сільськогосподарських культур дощувальними машинами Zimmatic у ТОВ «Оріль-Агро» Самарівського району Дніпропетровської області.

Предметом дослідження є ділянка зрошення, режим поливу сільськогосподарських культур, дощувальні машини Zimmatic та елементи закритої зрошувальної мережі.

Під час виконання кваліфікаційної роботи використано розрахунково-аналітичний метод, методи гідравлічних і меліоративних розрахунків, аналіз природно-кліматичних умов району проєктування, а також нормативно-довідкові матеріали з проєктування та експлуатації зрошувальних систем.

Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає в можливості використання запропонованих проєктних рішень для організації ефективного зрошення сільськогосподарських угідь ТОВ «Оріль-Агро». Упровадження дощувальних машин Zimmatic дасть змогу підвищити надійність водозабезпечення культур, покращити водний режим ґрунтів, зменшити ризики втрат урожаю в посушливі роки та підвищити загальну ефективність аграрного виробництва в господарстві.

1 ПРИРОДНІ УМОВИ РАЙОНУ ПРОЄКТУВАННЯ

1.1 Географічне положення та загальна характеристика території

Товариство з обмеженою відповідальністю «Оріль-Агро» розташоване в межах Самарівського району Дніпропетровської області. Територія господарства знаходиться у степовій зоні України, для якої характерне інтенсивне сільськогосподарське використання земель, значна розораність території, недостатнє природне зволоження та висока потреба сільськогосподарських культур у додатковому водозабезпеченні протягом вегетаційного періоду [1, 2].

У фізико-географічному відношенні район проєктування належить до степових ландшафтів Придніпров'я. Для цієї території характерні рівнинні та слабохвилясті форми рельєфу, наявність вододільних просторів, балок, понижень і долин малих річок. Такі особливості рельєфу впливають на формування поверхневого стоку, умови природного дренажу земель, розміщення сільськогосподарських угідь та проєктування зрошувальної мережі [2, 3].

Самарівський район розташований у центральній частині Дніпропетровської області та має сприятливе транспортно-географічне положення. Територія району пов'язана з обласним центром та іншими населеними пунктами автомобільними шляхами, що створює зручні умови для ведення аграрного виробництва, постачання матеріально-технічних ресурсів, експлуатації меліоративної техніки та транспортування вирощеної продукції [1].

Земельні ресурси району переважно використовуються у сільськогосподарському виробництві. Основну частину угідь становлять орні землі, на яких вирощують зернові, технічні та кормові культури. Значна частка ріллі, родючі чорноземні ґрунти та тривалий теплий період

створюють сприятливі умови для розвитку рослинництва. Разом із тим недостатня кількість атмосферних опадів, їх нерівномірний розподіл протягом року, часті посухи та суховії істотно обмежують природну продуктивність земель і зумовлюють потребу у зрошенні [3, 4].

Територія проєктування розташована в зоні ризикованого землеробства. У літній період тут часто спостерігається дефіцит вологи в ґрунті, що особливо негативно впливає на культури у критичні фази розвитку: проростання, кущення, цвітіння, формування генеративних органів і налив зерна. За таких умов урожайність сільськогосподарських культур значною мірою залежить від запасів продуктивної вологи у ґрунті та своєчасного проведення поливів [4, 5].

Важливою природною особливістю району є наявність водних об'єктів басейну річки Оріль, які формують місцеву гідрографічну мережу. Річка Оріль та її притоки мають важливе значення для природного зволоження території, формування ландшафтів, водного режиму прилеглих земель і можуть розглядатися як один із чинників, що впливають на можливість організації зрошення в межах господарства [2, 6].

Клімат району помірно континентальний, із жарким і посушливим літом та відносно м'якою зимою. У теплий період року випаровування часто перевищує кількість опадів, що призводить до зниження запасів вологи в ґрунті. Саме тому для забезпечення стабільного виробництва сільськогосподарської продукції в ТОВ «Оріль-Агро» доцільним є впровадження сучасної зрошувальної системи із застосуванням дощувальних машин Zimmatic [4, 5].

Отже, географічне положення ТОВ «Оріль-Агро» в межах степової зони Дніпропетровської області, висока частка сільськогосподарських угідь, родючі ґрунти та водночас недостатнє природне зволоження створюють об'єктивні передумови для проєктування зрошення. Використання дощувальних машин Zimmatic дасть змогу підвищити ефективність

використання земельних ресурсів, стабілізувати врожайність культур і зменшити залежність господарства від несприятливих погодних умов [5, 7].

1.2 Геоморфологічна характеристика поверхні ділянки зрошення

За фізико-географічним районуванням територія проєктування належить до степової зони України, яка в межах Дніпропетровської області характеризується переважанням рівнинних і слабохвилястих форм рельєфу, значною розораністю земель та активним сільськогосподарським використанням території [1, 2]. Формування сучасного рельєфу району пов'язане з тривалим впливом геологічних, кліматичних, водно-ерозійних та антропогенних процесів, які визначили загальний характер поверхні, напрямки природного стоку та умови використання земель у сільському господарстві [3].

Поверхня ділянки зрошення ТОВ «Оріль-Агро» має переважно рівнинний або слабохвилястий характер. Такі умови є сприятливими для розміщення дощувальних машин кругової або фронтальної дії, оскільки не створюють значних перешкод для рівномірного пересування опорних візків, стабільної роботи трубопроводу машини та рівномірного розподілу поливної води по площі поля [4, 5].

У межах району проєктування рельєф представлений вододільними рівнинами, пологими схилами, балками, улоговинами стоку та незначними пониженнями. Вододільні простори, як правило, використовуються під орні землі, оскільки мають відносно вирівняну поверхню та сприятливі умови для механізованого обробітку ґрунту. Балки та знижені елементи рельєфу виконують роль природних напрямків відведення поверхневого стоку, що необхідно враховувати під час проєктування зрошувальної мережі, розміщення трубопроводів, гідрантів і технологічних проїздів [2, 3].

Для території господарства характерне поступове зниження поверхні в напрямку місцевої гідрографічної мережі. Поверхневий стік формується переважно під час інтенсивних атмосферних опадів і весняного сніготанення. У звичайних умовах значна частина вологи інфільтрується в ґрунт, однак на ущільнених або слабоструктурних ділянках можливе утворення тимчасового поверхневого стоку, що може сприяти розвитку площинної ерозії [3, 6].

Геоморфологічні умови району загалом можна оцінити як сприятливі для проєктування зрошення. Вирівняний рельєф більшої частини сільськогосподарських угідь дає змогу ефективно використовувати дощувальні машини Zimmatic, забезпечувати рівномірність поливу та раціонально розміщувати елементи закритої зрошувальної мережі. При цьому під час проєктування необхідно враховувати мікрорельєф поля, напрямок природного похилу, наявність балок, лісосмуг, польових доріг та інших елементів території, які можуть впливати на трасування трубопроводів і розміщення дощувальної техніки [4, 5].

Наявність пологих схилів на окремих ділянках потребує дотримання протиерозійних заходів. До таких заходів належать раціональне розміщення поливних машин, недопущення надмірної інтенсивності дощу, підтримання оптимальної структури ґрунту, збереження полезахисних лісосмуг і правильна організація поверхневого стоку [6, 7]. Особливо важливо забезпечити відповідність інтенсивності штучного дощу водопроникності ґрунту, оскільки перевищення допустимої інтенсивності може призвести до утворення поверхневого стоку, розмиву ґрунту та нерівномірного зволоження кореневмісного шару [5, 7].

Антропогенні форми рельєфу на території господарства представлені польовими дорогами, межами полів, лісосмугами, каналізованими напрямками стоку, господарськими майданчиками та іншими елементами сільськогосподарської інфраструктури. Їх наявність необхідно враховувати

при виборі схеми зрошення, оскільки вони можуть обмежувати довжину проходу дощувальної машини, впливати на форму зрошуваних ділянок і визначати місця розташування гідрантів та підвідних трубопроводів [4].

Отже, геоморфологічна будова поверхні ділянки зрошення ТОВ «Оріль-Агро» є загалом придатною для впровадження зрошення дощувальними машинами Zimmatic. Переважання рівнинних і слабохвилястих форм рельєфу, наявність значних площ орних земель і відсутність різко виражених перепадів висот створюють сприятливі умови для проєктування закритої зрошувальної мережі та ефективної експлуатації дощувальної техніки. Водночас під час розроблення проєктних рішень необхідно враховувати природний похил території, мікрорельєф, напрямки поверхневого стоку та можливість розвитку ерозійних процесів на окремих ділянках [2, 6, 7].

1.3 Геологічні та гідрогеологічні умови

Геологічні та гідрогеологічні умови території проєктування мають важливе значення для обґрунтування можливості будівництва й експлуатації зрошувальної системи, вибору способу прокладання трубопроводів, визначення умов інфільтрації поливної води, оцінки природної дренажності земель та можливого впливу зрошення на рівень ґрунтових вод [1, 3].

У геоструктурному відношенні територія Самарівського району Дніпропетровської області розташована в межах Східноєвропейської платформи, у зоні поширення осадових відкладів, які перекривають кристалічні породи Українського щита. Геологічна будова району сформована під впливом тривалих тектонічних, денудаційних, акумулятивних і сучасних екзогенних процесів. У межах території

переважають четвертинні відклади, представлені лесовидними суглинками, супісками, делювіальними та алювіально-делювіальними утвореннями [2, 3].

Верхня частина геологічного розрізу, яка має найбільше значення для сільськогосподарського використання земель і проєктування зрошувальної мережі, складена переважно суглинковими ґрунтами різного гранулометричного складу. У верхній частині залягає ґрунтово-рослинний шар, нижче — лесовидні суглинки, які є основною ґрунтоутворювальною породою для чорноземних ґрунтів степової зони. Такі породи характеризуються достатньою водоутримувальною здатністю, однак за надмірного зволоження можуть ущільнюватися, знижувати водопроникність і сприяти формуванню тимчасового поверхневого стоку [3, 4].

Для району проєктування характерне поширення лесових і лесовидних порід, які мають пилувато-суглинковий склад, пористу будову та здатність накопичувати значні запаси вологи у кореневмісному шарі ґрунту. Ці властивості є сприятливими для вирощування сільськогосподарських культур, але потребують правильного регулювання поливного режиму. Надмірне зволоження таких ґрунтів може спричиняти погіршення їхньої структури, ущільнення орного шару, зниження аерації та активізацію ерозійних процесів на схилових ділянках [4, 5].

Гідрогеологічні умови території визначаються глибиною залягання ґрунтових вод, їх мінералізацією, напрямком руху підземного стоку, а також літологічним складом водовмісних і водотривких порід. У межах степової частини Дніпропетровської області ґрунтові води зазвичай приурочені до четвертинних алювіальних, делювіальних та еолово-делювіальних відкладів, а також до тріщинуватих зон більш давніх порід [2, 6].

У понижених елементах рельєфу, поблизу балок, долин річок та місцевих водотоків, ґрунтові води можуть залягати ближче до поверхні, тоді як на вододільних і підвищених ділянках їх рівень, як правило, знаходиться на більшій глибині. Така закономірність зумовлена загальним напрямком поверхневого й підземного стоку до місцевої гідрографічної мережі, зокрема до басейну річки Оріль та її приток [2, 6].

Для проєктування зрошення важливим є те, що на більшості орних земель рівень ґрунтових вод не повинен підходити близько до поверхні, оскільки це може призвести до перезволоження кореневмісного шару, вторинного засолення або осолонцювання ґрунтів. Тому під час експлуатації зрошувальної системи необхідно забезпечити такий режим поливів, за якого подача води відповідатиме фактичній потребі сільськогосподарських культур і не створюватиме надлишкового інфільтраційного живлення ґрунтових вод [5, 7].

За умов раціонального застосування дощувальних машин Zimmatic поливна вода подається на поле у вигляді штучного дощу, що дає змогу рівномірно зволожувати ґрунт і зменшувати ризик локального перезволоження. Водночас інтенсивність дощу має відповідати водопроникності ґрунту. Якщо інтенсивність подачі води перевищує здатність ґрунту її вбирати, можливе утворення поверхневого стоку, розмив ґрунту та нерівномірне зволоження ділянки [5, 8].

Гідрогеологічний режим території також залежить від кількості атмосферних опадів, випаровування, водопроникності ґрунтів, рельєфу місцевості та наявності природних шляхів дренажу. У посушливі роки рівень ґрунтових вод може знижуватися, тоді як у періоди надмірного зволоження або за нераціонального поливу можливе його підняття. Саме тому під час експлуатації зрошувальної системи необхідно передбачати контроль за вологістю ґрунту, дотримання розрахункових поливних норм і недопущення надмірного зволоження полів [6, 7].

З інженерно-геологічної точки зору територія проєктування загалом є придатною для прокладання закритої зрошувальної мережі. Переважання суглинкових і лесовидних відкладів дозволяє виконувати земляні роботи традиційними способами, а відносно рівнинний рельєф сприяє раціональному трасуванню трубопроводів. При цьому під час проєктування необхідно враховувати глибину промерзання ґрунту, механічний склад порід, можливість просідання лесовидних суглинків при зволоженні, а також умови захисту трубопроводів від механічних пошкоджень [3, 8].

Отже, геологічні та гідрогеологічні умови території ТОВ «Оріль-Агро» можна вважати загалом сприятливими для проєктування зрошення дощувальними машинами Zimmatic. Поширення лесовидних суглинків і чорноземних ґрунтів створює добрі передумови для накопичення та використання вологи рослинами, а природна дренажність території знижує ризик тривалого перезволоження. Разом із тим при розробленні режиму зрошення необхідно враховувати гідрогеологічні особливості ділянки, не допускати перевищення поливних норм і забезпечувати контроль за водним режимом ґрунтів [5, 6, 8].

1.4 Кліматична характеристика району проєктування

Територія проєктування розташована в межах степової зони України, для якої характерний помірно континентальний клімат із жарким посушливим літом, порівняно м'якою малосніжною зимою, значною мінливістю погодних умов протягом року та нерівномірним розподілом атмосферних опадів [1, 2]. Такі кліматичні особливості істотно впливають на водний режим ґрунтів, умови вирощування сільськогосподарських культур і визначають потребу в додатковому зволоженні земель у вегетаційний період [3].

Клімат району формується під впливом повітряних мас атлантичного, арктичного та континентального походження. У холодний період року погода часто змінюється внаслідок проходження циклонів і антициклонів, що зумовлює чергування морозних періодів із відлигами. У теплий період переважає суха, малохмарна та спекотна погода, яка супроводжується високим випаровуванням, дефіцитом вологи в ґрунті, суховіями та періодичними посухами [2, 4].

Середньорічна температура повітря в районі проєктування становить близько $+8,5...+9,0$ °С. Найхолоднішим місяцем є січень, середня температура якого становить приблизно $-4,5...-5,5$ °С, а найтеплішим — липень із середньою температурою близько $+21,0...+22,0$ °С [4, 5]. Абсолютні максимуми температури в літній період можуть перевищувати $+38...+40$ °С, що значно посилює випаровування вологи з поверхні ґрунту та підвищує потребу культур у поливі [3, 5].

Тривалість теплового періоду року є достатньою для вирощування основних зернових, технічних і кормових культур. Перехід середньодобової температури повітря через $+10$ °С навесні зазвичай відбувається у другій половині квітня, а восени — у першій половині жовтня. Тривалість періоду з температурою понад $+10$ °С становить орієнтовно 165–175 днів, що створює сприятливі умови для активної вегетації сільськогосподарських культур [4].

Безморозний період у районі проєктування триває в середньому 160–170 днів. Весняні заморозки найчастіше припиняються у другій половині квітня, однак в окремі роки можуть спостерігатися й у травні. Осінні заморозки зазвичай настають у першій половині жовтня. Наявність пізніх весняних і ранніх осінніх заморозків необхідно враховувати під час вибору культур сівозміни, строків сівби та планування поливного режиму [3, 4].

Атмосферні опади є одним із головних чинників, що визначають природне вологозабезпечення сільськогосподарських культур.

Середньорічна кількість опадів у районі проєктування становить близько 450–500 мм, однак їх розподіл протягом року є нерівномірним [4, 5]. Значна частина опадів випадає у теплий період року, але часто вони мають зливовий характер, що знижує їх ефективність для поповнення запасів продуктивної вологи в ґрунті. У літній період можливі тривалі бездощові періоди, які негативно впливають на ріст і розвиток рослин [3, 6].

У вегетаційний період потреба культур у воді часто перевищує кількість атмосферних опадів. Найбільший дефіцит вологи спостерігається в червні–серпні, коли поєднуються високі температури повітря, значне випаровування, низька відносна вологість і підвищена ймовірність суховіїв. Саме в цей період більшість сільськогосподарських культур проходить критичні фази розвитку, зокрема формування генеративних органів, цвітіння, налив зерна або формування врожаю [5, 6].

Відносна вологість повітря протягом року змінюється залежно від температури та циркуляційних процесів. У зимовий період вона є найвищою, а влітку знижується. У липні–серпні нерідко спостерігаються дні з відносною вологістю повітря нижче 30 %, що сприяє розвитку суховіїв. Суховійні явища особливо небезпечні для сільськогосподарських культур у період цвітіння та формування врожаю, оскільки спричиняють посилене випаровування вологи, в'янення рослин і зниження продуктивності посівів [3, 6].

Вітровий режим району характеризується переважанням вітрів східного, північно-східного та південно-східного напрямків. Середньорічна швидкість вітру становить близько 4,0–4,6 м/с [4]. У весняний та літній періоди можливі сильні вітри, пилові бурі та суховії. Для роботи дощувальних машин важливе значення має швидкість вітру, оскільки за її підвищення знижується рівномірність розподілу штучного дощу, збільшуються втрати води на знесення та випаровування, а також погіршується якість поливу [5, 7].

Сніговий покрив у районі проєктування нестійкий, часто переривається відлигами. Середня тривалість залягання снігового покриву становить близько 70–80 днів, однак його висота зазвичай невелика [4]. Через нестійкий характер снігового покриву запаси вологи, що накопичуються в ґрунті за рахунок сніготанення, є обмеженими й не завжди забезпечують достатнє зволоження кореневмісного шару на початку вегетації [3].

Глибина промерзання ґрунту залежить від температурного режиму зими, висоти снігового покриву та властивостей ґрунту. У середньому вона становить близько 0,5–0,6 м, але в холодні малосніжні зими може збільшуватися [4]. Цей показник необхідно враховувати під час проєктування закритої зрошувальної мережі, вибору глибини закладання трубопроводів та організації експлуатації системи в міжполивний і зимовий періоди [7].

Отже, кліматичні умови Самарівського району Дніпропетровської області характеризуються недостатнім і нестійким природним зволоженням, високими літніми температурами, значним випаровуванням, частими посухами та суховіями. Такі умови обмежують природну продуктивність сільськогосподарських угідь і зумовлюють необхідність впровадження зрошення. Застосування дощувальних машин Zimmatic у ТОВ «Оріль-Агро» дасть змогу компенсувати дефіцит вологи у критичні періоди розвитку культур, забезпечити рівномірне зволоження ґрунту та стабілізувати врожайність сільськогосподарських культур [5, 6, 7].

1.5 Характеристика ґрунтового покриву

Ґрунтовий покрив є одним із основних природних чинників, що визначає можливість і доцільність впровадження зрошення, вибір поливних норм, інтенсивність дощу, режим зволоження кореневмісного шару та ефективність використання дощувальної техніки. Властивості ґрунтів

впливають на водопроникність, вологоємність, аерацію, стійкість до ущільнення, ерозійну небезпеку та здатність забезпечувати рослини поживними речовинами [1, 2].

Територія ТОВ «Оріль-Агро» розташована в межах степової зони Дніпропетровської області, де ґрунтовий покрив сформувався переважно під степовою трав'янистою рослинністю в умовах недостатнього природного зволоження. Основними ґрунтами району є чорноземи звичайні та чорноземи південні, які мають високу природну родючість і широко використовуються в сільськогосподарському виробництві [2, 3].

Чорноземні ґрунти характеризуються добре вираженим гумусовим горизонтом, зернисто-грудкуватою структурою, достатнім вмістом поживних речовин і відносно сприятливими водно-фізичними властивостями. Саме ці ґрунти є основою землеробства в степовій частині Дніпропетровської області. За умови правильного агротехнічного обробітку та раціонального зрошення вони здатні забезпечувати високі й стабільні врожаї зернових, технічних і кормових культур [3, 4].

Ґрунтоутворювальними породами на території району переважно є лесові та лесовидні суглинки. Вони мають пилувато-суглинковий механічний склад, достатню пористість і здатність утримувати значні запаси продуктивної вологи. Разом із тим такі породи можуть бути чутливими до переущільнення та руйнування структури за неправильного обробітку ґрунту або надмірного зволоження [2, 5].

За гранулометричним складом ґрунти ділянки переважно належать до середньо- та важкосуглинкових. Такий механічний склад є загалом сприятливим для зрошення, оскільки забезпечує достатню вологоємність і здатність накопичувати воду в кореневмісному шарі. Однак на важкосуглинкових ґрунтах необхідно суворо дотримуватися розрахункових поливних норм, оскільки надлишкове зволоження може спричинити

погіршення аерації, ущільнення орного шару та зниження активності кореневої системи рослин [4, 5].

Важливою характеристикою ґрунтового покриву є вміст гумусу. Для чорноземних ґрунтів степової зони він зазвичай є достатньо високим, що позитивно впливає на родючість, водоутримувальну здатність і структурний стан ґрунту. Гумусовий горизонт забезпечує накопичення поживних речовин, поліпшує водний і повітряний режими, а також підвищує стійкість ґрунту до ерозійних процесів [3, 6].

Водно-фізичні властивості ґрунтів мають безпосереднє значення для проєктування режиму зрошення. До них належать щільність складення, пористість, водопроникність, найменша вологоємність, вологість в'янення та запас продуктивної вологи. На чорноземах середньо- та важкосуглинкового складу вода після поливу достатньо добре утримується в активному шарі ґрунту, що створює сприятливі умови для живлення рослин вологою протягом міжполивного періоду [4, 7].

Для ефективної роботи дощувальних машин Zimmatic важливо, щоб інтенсивність штучного дощу не перевищувала водопроникності ґрунту. У разі перевищення інтенсивності дощу над здатністю ґрунту вбирати воду може виникати поверхневий стік, нерівномірне зволоження, замулення поверхні та розвиток ерозійних процесів. Тому під час проєктування режиму поливу необхідно враховувати механічний склад ґрунту, його структурний стан і фактичну водопроникність [5, 7].

На окремих знижених елементах рельєфу можливе формування більш зволжених ґрунтів, а також прояви оглеєння або локального перезволоження. Такі ділянки потребують особливої уваги під час експлуатації зрошувальної системи, оскільки надмірна подача води може призвести до погіршення водно-повітряного режиму ґрунту. На підвищених і вододільних ділянках, навпаки, частіше спостерігається дефіцит вологи, особливо в посушливі роки [2, 6].

За агрономічною оцінкою чорноземні ґрунти району проєктування є придатними для вирощування широкого набору сільськогосподарських культур. Найбільш доцільним є вирощування озимої пшениці, кукурудзи, соняшнику, сої, ячменю, люцерни та інших культур, які добре реагують на покращення водного режиму ґрунту. В умовах зрошення підвищується ефективність використання добрив, активізуються мікробіологічні процеси, поліпшується засвоєння поживних речовин і створюються умови для формування стабільної врожайності [3, 4, 6].

Разом із тим зрошення чорноземних ґрунтів потребує дотримання агро меліоративних вимог. Основними з них є недопущення надмірного зволоження, контроль за якістю зрошувальної води, підтримання оптимальної структури ґрунту, запобігання ущільненню орного шару, використання протиерозійних заходів і раціональне чергування культур у сівозміні [5, 7].

Особливу увагу необхідно приділяти небезпеці вторинного засолення та осолонцювання ґрунтів. У степовій зоні такі процеси можуть виникати за умов використання води незадовільної якості, надмірних поливних норм, недостатнього природного дренажу або близького залягання мінералізованих ґрунтових вод. Тому під час експлуатації зрошувальної системи необхідно забезпечувати відповідність поливних норм водоспоживанню культур і контролювати меліоративний стан земель [5, 8].

Отже, ґрунтовий покрив території ТОВ «Оріль-Агро» загалом є сприятливим для впровадження зрошення дощувальними машинами Zimmatic. Переважання чорноземних ґрунтів, достатня природна родючість, сприятливі водно-фізичні властивості та здатність накопичувати продуктивну вологу створюють добрі передумови для ефективного вирощування сільськогосподарських культур. Водночас для збереження родючості ґрунтів необхідно дотримуватися науково обґрунтованого

режиму зрошення, не допускати перезволоження, ерозії, ущільнення та погіршення агроеліоративного стану земель [4, 5, 7, 8].

1.6 Джерело зрошення та оцінка якості зрошувальної води

Джерело зрошення є одним із основних елементів зрошувальної системи, оскільки від його водності, режиму живлення, якості води та можливості стабільного водозабору залежить ефективність роботи всієї системи поливу. Для проєктування зрошення в ТОВ «Оріль-Агро» необхідно враховувати не лише наявність водного об'єкта, а й відповідність зрошувальної води агроеліоративним вимогам, її вплив на ґрунтовий покрив, сільськогосподарські культури та елементи зрошувальної мережі [1, 2].

Основним джерелом зрошення для проєктованої ділянки приймається річка Оріль, яка є однією з важливих водних артерій лівобережної частини Дніпропетровської області. Річка Оріль належить до басейну Дніпра та відіграє важливу роль у формуванні водного режиму прилеглих територій. Її води можуть використовуватися для потреб сільського господарства, зокрема для зрошення земель, за умови дотримання вимог водного законодавства, раціонального водокористування та контролю якості води [2, 3].

За характером водного режиму річка Оріль, як і більшість річок степової зони України, має нерівномірний розподіл стоку протягом року. Найбільша водність зазвичай спостерігається у весняний період, під час сніготанення та проходження весняної повені. У літньо-осінній період, коли потреба сільськогосподарських культур у воді є найбільшою, витрати води в річці можуть знижуватися, що необхідно враховувати під час визначення можливого обсягу водозабору та режиму роботи зрошувальної системи [3, 4].

Для забезпечення стабільної подачі води на зрошувану ділянку передбачається механічний водозабір із подальшим транспортуванням води до закритої зрошувальної мережі. Подача води до дощувальних машин Zimmatic повинна здійснюватися з урахуванням розрахункової витрати, необхідного напору, режиму роботи насосного обладнання та графіка поливів сільськогосподарських культур. При цьому водозабір має бути організований так, щоб не порушувати природний гідрологічний режим водного об'єкта та не погіршувати екологічний стан річки [1, 5].

Якість зрошувальної води має велике значення для збереження родючості ґрунтів і забезпечення нормального росту сільськогосподарських культур. Основними показниками, за якими оцінюють придатність води для зрошення, є загальна мінералізація, вміст і співвідношення основних іонів, небезпека вторинного засолення, осолонцювання, підлуження ґрунту, токсичний вплив окремих іонів на рослини, а також санітарно-екологічні показники [6, 7].

Для оцінки якості зрошувальної води необхідно враховувати вміст катіонів кальцію, магнію, натрію та калію, а також аніонів гідрокарбонатів, сульфатів і хлоридів. Важливим є співвідношення між кальцієм, магнієм і натрієм, оскільки підвищена частка натрію у воді може спричиняти осолонцювання ґрунтів, погіршення їхньої структури, зниження водопроникності та погіршення умов розвитку кореневої системи рослин [6, 8].

За небезпекою вторинного засолення зрошувальна вода оцінюється за величиною загальної мінералізації та сумою токсичних солей. Вода з невисокою мінералізацією зазвичай є придатною для зрошення більшості сільськогосподарських культур і не створює значної небезпеки накопичення солей у кореневмісному шарі ґрунту. Однак навіть за задовільної якості води необхідно дотримуватися науково обґрунтованих

поливних норм і не допускати надмірного зволоження, оскільки воно може сприяти підняттю ґрунтових вод і вторинному засоленню земель [6, 7].

За небезпекою осолонцювання особливу увагу приділяють вмісту іонів натрію у воді та його співвідношенню з кальцієм і магнієм. Якщо вміст натрію не перевищує допустимих меж, а співвідношення катіонів є сприятливим, така вода може використовуватися для зрошення чорноземних ґрунтів без істотного ризику погіршення їх агрофізичних властивостей. У разі підвищеного вмісту натрію необхідно передбачати додаткові агро меліоративні заходи, зокрема контроль поливних норм, періодичне промивання ґрунту або хімічну меліорацію [6, 8].

За небезпекою підлуження ґрунтів оцінюється вміст гідрокарбонатів і карбонатів у зрошувальній воді. Підвищена лужність може негативно впливати на ґрунтовий вбирний комплекс, сприяти погіршенню структури ґрунту та зниженню доступності окремих елементів живлення для рослин. Тому під час використання води з річки Оріль необхідно періодично контролювати її хімічний склад, особливо в літній меженний період, коли концентрація розчинених речовин у воді може зростати [6, 7].

За небезпекою токсичного впливу на рослини враховують вміст хлоридів, сульфатів, натрію, гідрокарбонатів та інших компонентів, які за підвищених концентрацій можуть негативно впливати на ріст і розвиток культур. Найбільш чутливими до погіршення якості води є культури на ранніх фазах розвитку, а також рослини з підвищеними вимогами до сольового режиму ґрунту. Тому якість води повинна відповідати нормативним вимогам до зрошення сільськогосподарських земель [6, 8].

Попередньо воду з річки Оріль можна розглядати як потенційно придатну для використання в системі зрошення ТОВ «Оріль-Агро», однак остаточна оцінка її якості має виконуватися на основі лабораторного аналізу проб води у характерні періоди року. Особливо важливо проводити аналіз у вегетаційний період, коли здійснюється основний водозабір для

поливу, а також у меженний період, коли мінералізація води може бути найвищою [6, 7].

Для забезпечення надійної роботи дощувальних машин Zimmatic зрошувальна вода повинна також відповідати технічним вимогам до експлуатації поливного обладнання. Наявність у воді великої кількості завислих часток, мулу, органічних домішок або водної рослинності може спричиняти засмічення фільтрів, форсунок і регуляторів тиску. Тому перед подачею води в закриту зрошувальну мережу необхідно передбачити очищення води за допомогою водозабірних решіток, фільтрувального обладнання або інших захисних пристроїв [5, 9].

Раціональне використання води з річки Оріль передбачає дотримання встановлених лімітів водозабору, запобігання втратам води в мережі, використання сучасного насосного й дощувального обладнання, а також регулярний контроль за технічним станом системи. Застосування дощувальних машин Zimmatic дає змогу подавати воду на поле дозовано, рівномірно та відповідно до потреб культур, що сприяє зменшенню непродуктивних втрат води та підвищенню ефективності зрошення [5, 9].

Отже, як джерело зрошення для ТОВ «Оріль-Агро» доцільно прийняти річку Оріль, води якої можуть бути використані для поливу сільськогосподарських культур за умови підтвердження їх придатності за агрометеорологічними показниками. Оцінка якості зрошувальної води повинна включати визначення мінералізації, іонного складу, небезпеки засолення, осолонцювання, підлучення ґрунтів і токсичного впливу на рослини. За умови дотримання раціонального режиму водозабору, очищення води та контролю її якості використання річки Оріль як джерела зрошення є обґрунтованим для проєктування системи поливу дощувальними машинами Zimmatic [6, 7, 9].

2 ХАРАКТЕРИСТИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТОВ «ОРІЛЬ-АГРО»

2.1 Загальна характеристика господарства

Товариство з обмеженою відповідальністю «Оріль-Агро» є сільськогосподарським підприємством, розташованим у межах Самарівського району Дніпропетровської області. Основним напрямом діяльності господарства є вирощування сільськогосподарських культур на орних землях із використанням сучасних агротехнічних прийомів, машинно-тракторного парку та елементів інтенсивного землеробства. Територія підприємства знаходиться в степовій зоні України, де природні умови загалом сприятливі для розвитку рослинництва, однак недостатнє та нестійке зволоження значно обмежує реалізацію потенційної врожайності культур [1, 2].

Господарство спеціалізується переважно на виробництві продукції рослинництва. У структурі посівних площ доцільним є вирощування зернових, зернобобових, технічних і кормових культур, зокрема озимої пшениці, ячменю, кукурудзи, соняшнику, сої та багаторічних трав. Такий напрям господарювання відповідає природно-кліматичним умовам Дніпропетровської області та сучасним вимогам аграрного виробництва [3, 4].

Земельні угіддя ТОВ «Оріль-Агро» представлені переважно орними землями, які використовуються для вирощування польових культур. Висока частка ріллі свідчить про значний рівень сільськогосподарського освоєння території. Ґрунтовий покрив господарства сформований переважно чорноземними ґрунтами, які характеризуються високою природною родючістю, достатнім вмістом гумусу та сприятливими агрофізичними

властивостями. Саме ці ґрунти є основою формування продуктивного агроландшафту в умовах степової зони [2, 5].

Разом із тим природна родючість ґрунтів не завжди забезпечує отримання стабільних урожаїв без додаткового регулювання водного режиму. Для району розташування господарства характерні посушливі періоди, суховії, нерівномірний розподіл опадів протягом року та значний дефіцит вологи в літні місяці. Унаслідок цього врожайність сільськогосподарських культур істотно залежить від запасів продуктивної вологи в ґрунті та погодних умов конкретного року [4, 6].

Виробнича діяльність ТОВ «Оріль-Агро» пов'язана з виконанням повного комплексу польових робіт: основного і передпосівного обробітку ґрунту, сівби, внесення добрив, догляду за посівами, захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб, збирання врожаю та його первинного транспортування. Ефективність цих технологічних операцій значною мірою залежить від рівня забезпечення культур вологою, оскільки саме водний режим ґрунту визначає інтенсивність проростання насіння, розвиток кореневої системи, засвоєння поживних речовин і формування врожаю [3, 7].

У зоні недостатнього зволоження особливо важливим є впровадження зрошення як одного з головних чинників інтенсифікації сільськогосподарського виробництва. Зрошення дає змогу не лише компенсувати дефіцит атмосферних опадів, а й стабілізувати врожайність культур за роками, підвищити ефективність використання мінеральних добрив, покращити умови росту рослин і забезпечити більш рівномірне формування врожаю [6, 8].

Для господарства доцільним є застосування дощувальних машин Zimmatic, які можуть забезпечити рівномірне зволоження посівів, автоматизацію процесу поливу та раціональне використання водних ресурсів. Такі машини дають змогу проводити поливи відповідно до потреб

культур у критичні фази розвитку та адаптувати режим роботи до конкретних ґрунтово-кліматичних умов поля [8, 9].

Важливою перевагою впровадження сучасної дощувальної техніки є можливість підвищення технологічної керованості виробництва. У господарстві це дозволить планувати поливи відповідно до графіка водоспоживання культур, зменшувати ризики втрат урожаю в посушливі роки, забезпечувати рівномірність розвитку рослин на полі та створювати стабільні умови для отримання високої продуктивності сівозміни [7, 9].

Загалом ТОВ «Оріль-Агро» можна характеризувати як сільськогосподарське підприємство рослинницького напрямку, виробнича діяльність якого значною мірою залежить від природно-кліматичних умов степової зони. Наявність родючих чорноземних ґрунтів, значних площ орних земель і сприятливого теплового режиму створює добрі передумови для вирощування польових культур. Водночас дефіцит вологи у вегетаційний період зумовлює необхідність проєктування зрошення із застосуванням дощувальних машин Zimmatic, що дозволить підвищити стабільність і ефективність сільськогосподарського виробництва в господарстві [6, 8, 9].

2.2 Характеристика земельного фонду та сільськогосподарських угідь

Земельний фонд є основною виробничою базою сільськогосподарського підприємства, оскільки саме від площі, структури, якості та раціонального використання земельних ресурсів залежить ефективність рослинницької галузі. Для ТОВ «Оріль-Агро» земельні ресурси мають вирішальне значення, адже господарство спеціалізується переважно на вирощуванні польових культур у межах степової зони Дніпропетровської області [1, 2].

Земельні угіддя господарства представлені переважно сільськогосподарськими землями, основну частину яких займає рілля.

Висока частка орних земель свідчить про інтенсивне використання території у рослинництві та наявність сприятливих умов для вирощування зернових, технічних і кормових культур. Рілля використовується для розміщення польової сівозміни, проведення основних агротехнічних заходів, внесення добрив, захисту рослин і збирання врожаю [2, 3].

У структурі сільськогосподарських угідь ТОВ «Оріль-Агро» доцільно виділити орні землі, польові дороги, полезахисні лісосмуги, господарські майданчики, ділянки під інженерною інфраструктурою та природні понижені елементи території. Основну виробничу цінність становлять орні землі, оскільки саме вони безпосередньо використовуються для вирощування сільськогосподарських культур і є об'єктом проєктування зрошення [3, 4].

Ґрунтовий покрив орних земель господарства сформований переважно чорноземними ґрунтами, які характеризуються високою природною родючістю, достатнім вмістом гумусу, сприятливими водно-фізичними властивостями та здатністю накопичувати продуктивну вологу. Такі ґрунти є придатними для вирощування широкого набору культур, зокрема озимої пшениці, кукурудзи, соняшнику, сої, ячменю та багаторічних трав [2, 5].

Разом із тим ефективність використання земельного фонду господарства значною мірою обмежується недостатнім природним зволоженням. У посушливі роки навіть родючі чорноземні ґрунти не забезпечують стабільного формування врожаю без додаткового водозабезпечення. Особливо гостро дефіцит вологи проявляється у період активної вегетації культур, коли потреба рослин у воді є найбільшою, а кількість атмосферних опадів часто є недостатньою або розподіляється нерівномірно [4, 6].

Сільськогосподарські угіддя ТОВ «Оріль-Агро» характеризуються достатньою придатністю для впровадження зрошення. Переважання рівнинних і слабохвилястих ділянок, наявність значних площ ріллі та

можливість розміщення дощувальних машин створюють сприятливі умови для організації поливу. При цьому під час вибору зрошуваних масивів необхідно враховувати конфігурацію полів, ухили поверхні, наявність лісосмуг, доріг, меж землекористування та інших елементів території [5, 7].

Для ефективного використання дощувальних машин Zimmatic важливе значення має форма та розмір полів. Найбільш зручними для розміщення таких машин є поля правильної або наближеної до правильної форми, з мінімальною кількістю перешкод для руху опорних візків. Наявність лісосмуг, ліній електропередач, польових доріг або нерівних меж може впливати на схему розміщення машин і потребувати коригування площі фактичного поливу [7, 8].

Під час проєктування зрошення необхідно розрізняти площу бруто і площу нетто. Площа бруто включає всю територію зрошуваного масиву разом із дорогами, лісосмугами, господарськими проїздами, трубопроводами та іншими елементами інфраструктури. Площа нетто — це безпосередньо площа, яка поливається та використовується для вирощування сільськогосподарських культур. Саме площа нетто є основною при визначенні потреби у воді, розрахунку режиму зрошення та продуктивності дощувальних машин [6, 8].

Раціональна організація земельного фонду передбачає правильне розміщення культур у сівозміні, збереження родючості ґрунтів, недопущення ерозійних процесів, ущільнення орного шару та погіршення агроеліоративного стану земель. В умовах зрошення особливу увагу необхідно приділяти дотриманню поливних норм, контролю якості зрошувальної води та запобіганню вторинному засоленню або осолонцюванню ґрунтів [5, 6].

Важливим елементом земельного фонду є позахисні лісосмуги, які виконують протиерозійну, вітрозахисну та водорегулюючу функції. Вони зменшують швидкість вітру, знижують ризик пилових бур, сприяють

накопиченню снігу та частковому збереженню вологи в ґрунті. Разом із тим під час проєктування дощувальних машин необхідно враховувати їх розташування, оскільки лісосмуги можуть обмежувати радіус або траєкторію руху поливної техніки [3, 7].

Польові дороги та технологічні проїзди забезпечують доступ до окремих ділянок, насосного обладнання, гідрантів, трубопроводів і дощувальних машин. Їх наявність є необхідною умовою нормальної експлуатації зрошувальної системи, проведення ремонтних робіт, технічного обслуговування машин Zimmatic та виконання агротехнічних операцій на полі [7, 8].

Отже, земельний фонд ТОВ «Оріль-Агро» має виражене сільськогосподарське спрямування та представлений переважно орними землями, придатними для вирощування польових культур. Висока природна родючість чорноземних ґрунтів, сприятливий тепловий режим і значні площі ріллі створюють добрі передумови для розвитку рослинництва. Водночас нестача природної вологи у вегетаційний період зумовлює необхідність впровадження зрошення. Раціональне використання дощувальних машин Zimmatic дозволить підвищити ефективність використання сільськогосподарських угідь, стабілізувати врожайність культур і забезпечити більш повне використання потенціалу земельних ресурсів господарства [6, 7, 8].

2.3 Обґрунтування необхідності зрошення

Для обґрунтування необхідності зрошення в районі розташування ТОВ «Оріль-Агро» необхідно зіставити два основні елементи водного балансу території: витратну частину, тобто випаровуваність, і прибуткову частину — атмосферні опади [24]. Саме співвідношення цих показників дає змогу оцінити рівень природного зволоження території та встановити, чи

достатньо атмосферних опадів для забезпечення потреб сільськогосподарських культур у воді протягом вегетаційного періоду.

Таблиця 2.3 – Розрахунок K_C за вегетаційний період для району проєктування

Показник	04	05	06	07	08	09	За вегетацію
Температура повітря, °C	9,5	16,0	19,6	21,4	20,8	15,4	—
Відносна вологість повітря, %	67	59	60	60	59	64	—
Випаровуваність, мм	71	124	143	155	155	106	754
Атмосферні опади, мм	38	51	57	60	34	37	277
Індекс посушливості	1,87	2,43	2,51	2,58	4,56	2,86	2,72

За даними таблиці 2.3, сумарна випаровуваність за вегетаційний період становить:

$$\sum E_M = 71 + 124 + 143 + 155 + 155 + 106 = 754 \text{ мм.} \quad (2.3)$$

Сума атмосферних опадів за той самий період дорівнює:

$$\sum P = 38 + 51 + 57 + 60 + 34 + 37 = 277 \text{ мм.} \quad (2.4)$$

Тоді індекс посушливості за вегетаційний період становить:

$$K_C = \frac{\sum E_M}{\sum P} = \frac{754}{277} = 2,72. \quad (2.5)$$

Оскільки

$$K_C = 2,72 > 1, \quad (2.6)$$

то природного зволоження в районі проєктування недостатньо, а застосування зрошення є необхідним.

Результати розрахунку свідчать, що в усі місяці вегетаційного періоду випаровуваність перевищує кількість атмосферних опадів. Найменше значення індексу посушливості спостерігається у квітні — $K_C = 1,87$, що вже перевищує одиницю. Найбільш посушливим місяцем є серпень, коли індекс посушливості досягає $K_C = 4,56$. Це пояснюється поєднанням високої температури повітря, зниженої відносної вологості та малої кількості атмосферних опадів у цей період.

Отримане середнє значення індексу посушливості за вегетаційний період $K_C = 2,72$ свідчить, що випаровуваність майже у 2,7 рази перевищує природне надходження вологи з атмосферними опадами. Отже, у ґрунті формується стійкий дефіцит продуктивної вологи, який не може бути компенсований лише за рахунок природного зволоження.

Нестача вологи особливо негативно впливає на сільськогосподарські культури у критичні фази їх розвитку. Для зернових культур це періоди кущення, виходу в трубку, колосіння та наливу зерна; для кукурудзи — викидання волоті, цвітіння та формування зерна; для соняшнику — бутонізація, цвітіння і налив насіння; для сої — цвітіння, утворення бобів і налив насіння [5, 6]. У ці періоди дефіцит вологи призводить до пригнічення ростових процесів, зниження інтенсивності фотосинтезу, погіршення засвоєння поживних речовин і зменшення врожайності.

Для ТОВ «Оріль-Агро» застосування зрошення є важливим заходом стабілізації сільськогосподарського виробництва. В умовах недостатнього природного зволоження навіть родючі чорноземні ґрунти не забезпечують повної реалізації потенціалу продуктивності культур без додаткового водозабезпечення. Поливи дають змогу підтримувати оптимальну вологість кореневмісного шару ґрунту, покращити умови росту рослин і зменшити залежність урожайності від погодних умов конкретного року [6, 7].

Найбільш доцільним способом поливу для умов господарства є дощування. Воно забезпечує рівномірний розподіл води по поверхні поля,

можливість регулювання поливних норм і придатність для широкого набору польових культур. Використання дощувальних машин **Zimmatic** дозволяє подавати воду дозовано, відповідно до потреб культур, властивостей ґрунту та погодних умов, що особливо важливо в умовах посушливого клімату [7, 8].

Отже, проведений розрахунок підтверджує необхідність зрошення земель ТОВ «Оріль-Агро». Значення індексу посушливості $K_c = 2,72$ свідчить про значний дефіцит природного зволоження у вегетаційний період. Тому впровадження зрошення дощувальними машинами Zimmatic є обґрунтованим і необхідним заходом для підвищення врожайності сільськогосподарських культур, стабілізації виробництва та раціонального використання земельних ресурсів господарства [7, 8].

2.4 Структура посівних площ і характеристика культур сівозміни

Структура посівних площ є важливим елементом організації сільськогосподарського виробництва, оскільки вона визначає напрям використання земельного фонду, потребу культур у воді, строки проведення поливів, навантаження на зрошувальну мережу та дощувальні машини.

На зрошуваній ділянці ТОВ «Оріль-Агро» передбачається вирощування зернових, зернобобових, технічних і кормових культур. Такий склад культур є доцільним для степової зони Дніпропетровської області, оскільки дає змогу поєднати продовольче, кормове й технічне напрями виробництва, раціонально використовувати родючість чорноземних ґрунтів і забезпечити більш рівномірне використання зрошувальної системи протягом вегетаційного періоду [3, 4].

Для проєктованої ділянки приймаємо польову зрошувану сівозміну, до складу якої входять такі культури: пшениця озима, кукурудза на зерно,

соняшник, соя, ячмінь ярий і люцерна. Прийнята структура посівних площ наведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Структура посівних площ зрошуваної сівозміни ТОВ «Оріль-Агро»

№ поля	Культура	Площа, га	Частка у структурі, %
1	Пшениця озима	72	14,3
2	Кукурудза на зерно	72	14,3
3	Соя	72	14,3
4	Соняшник	72	14,3
5	Ячмінь ярий	72	14,3
6	Люцерна	72	14,3
7	Кукурудза на зерно	72	14,2
Разом	Зрошувана сівозміна	504	100,0

Прийнята структура посівних площ забезпечує чергування культур із різною біологічною потребою у волозі, різною глибиною розвитку кореневої системи та різним впливом на родючість ґрунту. Це має важливе значення для збереження агрофізичних властивостей чорноземів, зменшення фітосанітарного навантаження, раціонального використання поживних речовин і підтримання стабільної продуктивності сівозміни [5, 6].

Пшениця озима є однією з основних зернових культур у степовій зоні України. Вона добре використовує осінньо-зимові запаси вологи, однак у весняно-літній період потребує достатнього водозабезпечення, особливо у фази виходу в трубку, колосіння та наливу зерна. У посушливих умовах нестача вологи в ці періоди призводить до зменшення кількості продуктивних стебел, погіршення озерненості колоса та зниження маси зерна. За умов зрошення озима пшениця краще реалізує потенціал урожайності, ефективніше використовує мінеральні добрива та формує більш стабільний урожай [4, 6].

Кукурудза на зерно є високопродуктивною культурою, яка добре реагує на зрошення. Найбільша потреба у воді спостерігається в період викидання волоті, цвітіння, запліднення та наливу зерна. Дефіцит вологи в цей час може спричинити череззерницю качанів, зменшення маси зерна та істотне зниження врожайності. У структурі сівозміни кукурудза займає два поля, що пояснюється її високою продуктивністю та важливим значенням для зернового виробництва господарства [5, 7].

Соя є цінною зернобобовою культурою, яка має важливе агротехнічне значення завдяки здатності збагачувати ґрунт азотом за рахунок симбіотичної азотфіксації. Водночас соя є досить вибагливою до умов зволоження, особливо у фазі цвітіння, утворення бобів і наливу насіння. За недостатньої кількості вологи зменшується кількість бобів на рослині, маса насіння та загальна продуктивність посівів. В умовах зрошення соя формує більш рівномірні посіви та забезпечує вищу стабільність урожаю [6, 7].

Соняшник є однією з основних технічних культур степової зони. Він має потужну кореневу систему та здатний використовувати вологу з глибших шарів ґрунту, однак у посушливі роки також потребує додаткового водозабезпечення. Найбільш критичними для соняшнику є періоди бутонізації, цвітіння та наливу насіння. Водночас під час зрошення соняшнику необхідно уникати надмірного зволоження, оскільки це може сприяти розвитку хвороб і погіршенню умов досягання культури [4, 8].

Ячмінь ярий є скоростиглою зерновою культурою, яка використовує вологу переважно в першій половині вегетації. Він чутливий до нестачі вологи у період кущення, виходу в трубку та формування зерна. У структурі сівозміни ячмінь ярий відіграє важливу роль як культура раннього строку збирання, після якої можна своєчасно виконати основний обробіток ґрунту, підготувати поле до наступної культури або використати його для післяжнивних агротехнічних заходів [5, 6].

Люцерна є цінною багаторічною кормовою культурою, яка добре реагує на зрошення та здатна формувати декілька укосів зеленої маси за вегетаційний період. Вона має потужну кореневу систему, покращує структуру ґрунту, збагачує його органічною речовиною та біологічним азотом. У сівозміні люцерна виконує ґрунтозахисну й ґрунтополіпшувальну функції, а також сприяє підвищенню родючості ґрунту для наступних культур [6, 9].

Запропонована структура сівозміни дає змогу рівномірніше розподілити потребу у воді протягом вегетаційного періоду. Озима пшениця і ячмінь ярий найбільше використовують вологу у весняний та ранньолітній періоди, тоді як кукурудза, соя і соняшник потребують поливів переважно влітку. Люцерна потребує регулярного зволоження після укосів, що також враховується під час складання графіка поливів [7, 8].

Для поливу прийнятої сівозміни доцільно використовувати дощувальні машини Zimmatic, які забезпечують рівномірне зволоження поля, можливість регулювання поливних норм і пристосування режиму роботи до біологічних потреб окремих культур. Використання такої техніки дозволяє підтримувати оптимальну вологість ґрунту, зменшити ризик втрати врожаю в посушливі періоди та підвищити ефективність використання водних і земельних ресурсів господарства [8, 9].

Отже, прийнята структура посівних площ ТОВ «Оріль-Агро» відповідає природно-кліматичним умовам району проєктування, спеціалізації господарства та технічним можливостям зрошення дощувальними машинами Zimmatic. Поєднання зернових, зернобобових, технічних і кормових культур забезпечує раціональне використання ріллі, підтримання родючості ґрунту, стабільне водоспоживання протягом вегетаційного періоду та створює передумови для підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва [6, 8, 9].

3 РЕЖИМ ЗРОШЕННЯ І ТЕХНІКА ПОЛИВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Режим зрошення сільськогосподарських культур — це сукупність поливних норм, строків і кількості поливів, які встановлюють з урахуванням кліматичних умов, біологічних особливостей культур, водно-фізичних властивостей ґрунту та прийнятої техніки поливу. Основним завданням режиму зрошення є створення і підтримання в активному шарі ґрунту такого водного режиму, який забезпечує нормальний ріст рослин, ефективне використання поживних речовин і формування стабільного врожаю [24].

Для ТОВ «Оріль-Агро» режим зрошення розробляється для польової сівозміни, до складу якої входять зернові, зернобобові, технічні та кормові культури. Полив передбачається здійснювати дощувальними машинами Zimmatic, які дають змогу рівномірно розподіляти воду по площі поля, регулювати норму поливу та забезпечувати подачу води відповідно до потреб культур у різні фази розвитку [7, 8].

3.1 Вибір розрахункового року заданої забезпеченості

Режим зрошення однієї і тієї самої сівозміни не може бути однаковим для всіх років, оскільки він залежить від багатьох змінних факторів: кількості атмосферних опадів, температури повітря, вологості повітря, випаровуваності, запасів продуктивної вологи в ґрунті, строків настання фаз розвитку культур та загальної посушливості року [24]. Тому під час проєктування зрошувальної системи необхідно приймати такий розрахунковий рік, який характеризує достатньо посушливі умови та дає змогу забезпечити надійну роботу системи в роки з дефіцитом природного зволоження.

Для проектування зрошувальної мережі зазвичай приймають режим зрошення, розрахований на посушливий рік 75 % забезпеченості. Такий підхід дозволяє врахувати несприятливі погодні умови, які можуть повторюватися досить часто, і забезпечити подачу води в обсягах, необхідних для підтримання оптимального водного режиму ґрунту [24]. Рік 75 % забезпеченості не є екстремально посушливим, але він достатньо повно відображає умови, за яких без зрошення формується значний дефіцит вологи.

Вибір року заданої забезпеченості виконують за багаторічним рядом метеорологічних спостережень. Для цього аналізують дані щодо атмосферних опадів, температури повітря, відносної вологості, випаровуваності та дефіциту водоспоживання культур. Тривалість ряду спостережень повинна бути достатньою для статистичної оцінки забезпеченості, як правило не менше 20 років [10, 24].

Основним показником для вибору розрахункового року є дефіцит водоспоживання, тобто різниця між потребою сільськогосподарських культур у воді та природним надходженням вологи з атмосферними опадами і запасами ґрунтової вологи. Чим більший дефіцит водоспоживання, тим більш посушливим є рік і тим більша потреба у зрошенні [24].

Для прийняття розрахункового року знаходять такий рік, забезпеченість якого найближча до 75 %. Саме для цього року надалі визначають зрошувальні норми, строки поливів, кількість поливів і розрахункову витрату води для проекрованої зрошувальної системи.

Оскільки район проектування розташований у степовій зоні з недостатнім природним зволоженням, для розрахунку режиму зрошення приймаємо посушливий рік 75 % забезпеченості. Такий вибір є обґрунтованим, оскільки за умов Самарівського району Дніпропетровської області у вегетаційний період випаровуваність істотно перевищує кількість

атмосферних опадів, а отже виникає потреба в додатковому водозабезпеченні культур [3, 4]. Методика розрахунку наведена в Додатку.

У попередньому підрозділі встановлено, що за вегетаційний період сумарна випаровуваність становить:

$$\sum E_M = 754 \text{ мм}, \quad (3.2)$$

а сума атмосферних опадів за той самий період дорівнює:

$$\sum P = 277 \text{ мм}. \quad (3.3)$$

Індекс посушливості становить:

$$K_C = \frac{754}{277} = 2,72. \quad (3.4)$$

Оскільки

$$K_C = 2,72 > 1, \quad (3.5)$$

природне зволоження району є недостатнім. Це підтверджує доцільність прийняття для подальших розрахунків саме посушливого року 75 % забезпеченості.

Для умов ТОВ «Оріль-Агро» розрахунковий рік 75 % забезпеченості приймається як основа для визначення режиму зрошення культур польової сівозміни. У такому році необхідно забезпечити подачу води в обсягах, які компенсують дефіцит природного зволоження та підтримують оптимальну вологість активного шару ґрунту. Це особливо важливо для культур, які мають підвищену потребу у волозі в літній період: кукурудзи, сої, соняшнику та люцерни [5, 6].

Прийняття року 75 % забезпеченості також має важливе значення для розрахунку продуктивності дощувальних машин Zimmatic. Якщо система буде запроєктована для умов такого року, вона зможе забезпечувати

необхідну кількість поливів у більшість посушливих періодів, не допускаючи критичного зниження вологості ґрунту. При цьому не відбувається надмірне завищення параметрів системи, яке було б можливим у разі прийняття екстремально сухого року меншої забезпеченості [7, 8].

Отже, для розрахунку режиму зрошення сільськогосподарських культур у ТОВ «Оріль-Агро» приймаємо посушливий рік 75 % забезпеченості. Такий розрахунковий рік відповідає умовам степової зони Дніпропетровської області, враховує недостатнє природне зволоження території та дозволяє обґрунтовано визначити зрошувальні норми, строки поливів, кількість поливів і параметри роботи дощувальних машин Zimmatic [10, 24].

3.2 Визначення водоспоживання сільськогосподарських культур

Водоспоживання сільськогосподарських культур є одним із основних показників, на підставі якого встановлюють потребу рослин у воді, визначають дефіцит вологозабезпечення, зрошувальні норми та строки проведення поливів. В умовах степової зони Дніпропетровської області природні запаси вологи в ґрунті та атмосферні опади не завжди забезпечують потреби культур у воді, тому для кожної культури сівозміни необхідно визначити сумарне водоспоживання та його дефіцит [10, 24].

Водоспоживання культури залежить від біологічних особливостей рослин, тривалості вегетаційного періоду, температури повітря, відносної вологості, кількості атмосферних опадів, запасів продуктивної вологи в ґрунті, глибини розвитку кореневої системи та рівня агротехніки. Для культур польової сівозміни ТОВ «Оріль-Агро» найбільша потреба у воді припадає на період інтенсивного росту, цвітіння та формування врожаю [5, 6].

Для умов проєктування приймаємо, що за вегетаційний період сума атмосферних опадів становить:

$$\sum P = 277 \text{ мм.} \quad (3.9)$$

Коефіцієнт використання атмосферних опадів приймаємо:

$$\mu = 0,70. \quad (3.10)$$

Тоді ефективна частина атмосферних опадів, яка використовується рослинами, становить:

$$P_{\text{еф}} = \mu \cdot \sum P = 0,70 \cdot 277 = 194 \text{ мм.} \quad (3.11)$$

Запаси продуктивної вологи в активному шарі ґрунту, які можуть бути використані рослинами протягом вегетаційного періоду, приймаємо:

$$\Delta W = 40 \text{ мм.} \quad (3.12)$$

Тоді загальне природне вологозабезпечення культур становить:

$$W_{\text{пр}} = P_{\text{еф}} + \Delta W = 194 + 40 = 234 \text{ мм.} \quad (3.13)$$

Для визначення водоспоживання культур польової сівозміни ТОВ «Оріль-Агро» приймаємо орієнтовні значення сумарного водоспоживання за вегетаційний період із урахуванням біологічних особливостей культур, тривалості їх розвитку та умов зрошення [5, 6, 24]. Результати розрахунку наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Визначення водоспоживання сільськогосподарських культур

Культура	Сумарне водоспоживання (ΣE_v), мм	Ефективні опади ($P_{\text{еф}}$), мм	Запаси продуктивної вологи (ΔW), мм	Дефіцит водоспоживання (D), мм	Дефіцит водоспоживання, м ³ /га
Пшениця озима	455	194	40	221	2210
Кукурудза на зерно	535	194	40	301	3010
Соя	505	194	40	271	2710
Соняшник	485	194	40	251	2510
Ячмінь ярий	415	194	40	181	1810
Люцерна	575	194	40	341	3410
Кукурудза на зерно	535	194	40	301	3010

Перехід від шару води в міліметрах до об'єму води в кубічних метрах на гектар виконують за співвідношенням:

$$1 \text{ мм} = 10 \text{ м}^3/\text{га} \quad (3.14)$$

Тоді дефіцит водоспоживання в об'ємних одиницях визначають за формулою:

$$D_{\text{м}^3/\text{га}} = 10 \cdot D, \quad (3.15)$$

де

$D_{\text{м}^3/\text{га}}$ — дефіцит водоспоживання, м³/га;

D — дефіцит водоспоживання, мм.

Наприклад, для кукурудзи на зерно дефіцит водоспоживання становить:

$$D = 535 - 194 - 40 = 301 \text{ мм}, \quad (3.16)$$

або

$$D_{\text{м}^3/\text{га}} = 10 \cdot 301 = 3010 \text{ м}^3/\text{га} \quad (3.17)$$

Отримані результати показують, що найбільшу потребу в додатковому водозабезпеченні мають люцерна та кукурудза на зерно. Для люцерни дефіцит водоспоживання становить 341 мм, або 3410 м³/га, що пояснюється тривалим періодом вегетації, інтенсивним наростанням зеленої маси та потребою в регулярному зволоженні після укосів. Для кукурудзи на зерно дефіцит становить 301 мм, або 3010 м³/га, оскільки культура має високу потребу у волозі в період викидання волоті, цвітіння та наливу зерна [5, 6].

Соя також характеризується значною потребою у воді. Її дефіцит водоспоживання становить 271 мм, або 2710 м³/га. Найбільш критичними для цієї культури є фази цвітіння, утворення бобів і наливу насіння. За нестачі вологи в ці періоди зменшується кількість бобів на рослині, маса насіння та загальна врожайність [6].

Для соняшнику дефіцит водоспоживання становить 251 мм, або 2510 м³/га. Незважаючи на відносну посухостійкість і добре розвинену кореневу систему, соняшник позитивно реагує на зрошення, особливо у фазі бутонізації, цвітіння та наливу насіння. При цьому поливи необхідно проводити обґрунтовано, не допускаючи надмірного зволоження ґрунту [5, 6].

Пшениця озима та ячмінь ярий мають дещо менший дефіцит водоспоживання порівняно з кукурудзою, соєю та люцерною. Для пшениці озимої він становить 221 мм, або 2210 м³/га, а для ячменю ярого — 181 мм, або 1810 м³/га. Це пояснюється тим, що ці культури використовують частину осінньо-зимових і ранньовесняних запасів вологи, а їхній вегетаційний період частково проходить у менш посушливих умовах [5, 24].

Оскільки площі полів у прийнятій сівозміні однакові та становлять по 72 га, середньозважений дефіцит можна визначити як середнє арифметичне значення:

$$D_{\text{сер}} = \frac{221 + 301 + 271 + 251 + 181 + 341 + 301}{7} = 267 \text{ мм} \quad (3.19)$$

В об'ємних одиницях це становить:

$$D_{\text{сер.м}^3/\text{га}} = 10 \cdot 267 = \frac{2670 \text{ м}^3}{\text{га}} \quad (3.20)$$

Загальна потреба у воді для компенсації дефіциту водоспоживання на площі зрошення визначається за формулою:

$$W_{\Sigma} = D_{\text{сер.м}^3/\text{га}} \cdot F_{\Sigma}, \quad (3.21)$$

де

W_{Σ} — загальна потреба у воді за вегетаційний період, м³;

$D_{\text{сер.м}^3/\text{га}}$ — середньозважений дефіцит водоспоживання, м³/га;

F_{Σ} — площа зрошуваної сівозміни, га.

При площі зрошення:

$$F_{\Sigma} = 504 \text{ га}, \quad (3.22)$$

загальна потреба у воді становить:

$$W_{\Sigma} = 2670 \cdot 504 = 1\,345\,680 \text{ м}^3 \quad (3.23)$$

Отже, розрахункове водоспоживання сільськогосподарських культур показує, що природного вологозабезпечення для умов ТОВ «Оріль-Агро» недостатньо. Середньозважений дефіцит водоспоживання сівозміни становить 267 мм, або 2670 м³/га, а загальна потреба у воді для компенсації цього дефіциту на площі 504 га становить близько 1,35 млн м³ за

вегетаційний період. Отримані дані є основою для подальшого визначення зрошувальних і поливних норм, кількості поливів та параметрів роботи дощувальних машин Zimmatic [7, 8, 24].

3.3 Розрахунок зрошувальних і поливних норм

Зрошувальна норма є одним із головних показників режиму зрошення, оскільки вона визначає загальну кількість води, яку необхідно подати на поле протягом вегетаційного періоду для компенсації дефіциту природного зволоження. Поливна норма, у свою чергу, характеризує кількість води, яку подають за один полив для зволоження активного шару ґрунту до оптимального рівня [7, 24].

Розрахунок зрошувальних і поливних норм для умов ТОВ «Оріль-Агро» виконуємо на основі дефіциту водоспоживання сільськогосподарських культур, визначеного у попередньому підрозділі. Оскільки дефіцит водоспоживання показує нестачу вологи, яку необхідно компенсувати поливами, його приймаємо як зрошувальну норму нетто [24].

Результати розрахунку зрошувальних і поливних норм наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок зрошувальних і поливних норм сільськогосподарських культур

Культура	Зрошувальна норма нетто, мм	Зрошувальна норма нетто, м³/га	Полівна норма нетто, м³/га	Кількість поливів	Зрошувальна норма брутто, м³/га
Пшениця озима	221	2210	370	6	2600
Кукурудза на зерно	301	3010	430	7	3540
Соя	271	2710	390	7	3190
Соняшник	251	2510	420	6	2950
Ячмінь ярий	181	1810	360	5	2130
Люцерна	341	3410	430	8	4010
Кукурудза на зерно	301	3010	430	7	3540

Для прикладу виконаємо розрахунок для кукурудзи на зерно. За попередніми розрахунками дефіцит водоспоживання кукурудзи становить:

$$D = 301 \text{ мм} \quad (3.31)$$

Отже, зрошувальна норма нетто становить:

$$M_{\text{нт}} = D = 301 \text{ мм} \quad (3.32)$$

У перерахунку на м³/га:

$$M_{\text{нт.м}^3/\text{га}} = 10 \cdot 301 = \frac{3010 \text{ м}^3}{\text{га}} \quad (3.33)$$

При коефіцієнті використання води $\eta = 0,85$ зрошувальна норма брутто дорівнює:

$$M_{\text{бр}} = \frac{3010}{0,85} = \frac{3540 \text{ м}^3}{\text{га}} \quad (3.34)$$

Якщо поливну норму нетто для кукурудзи прийняти:

$$m_{\text{нт}} = 430 \text{ м}^3/\text{га}, \quad (3.35)$$

то кількість поливів становить:

$$n = \frac{3010}{430} = 7 \text{ поливів} \quad (3.36)$$

Поливна норма брутто для кукурудзи дорівнює:

$$m_{\text{бр}} = \frac{430}{0,85} = \frac{506 \text{ м}^3}{\text{га}} \quad (3.37)$$

Аналогічно виконано розрахунок для інших культур сівозміни. Найбільша зрошувальна норма характерна для люцерни — 3410 м³/га нетто, або 4010 м³/га брутто. Це пояснюється тривалим періодом вегетації культури та необхідністю проведення поливів після укосів. Для кукурудзи на зерно зрошувальна норма нетто становить 3010 м³/га, що пов'язано з високою потребою культури у воді в період цвітіння та наливу зерна [5, 6].

Для сої зрошувальна норма нетто становить 2710 м³/га, для соняшнику — 2510 м³/га, для пшениці озимої — 2210 м³/га, а для ячменю ярого — 1810 м³/га. Менша потреба у поливній воді для озимих і ранніх ярих культур пояснюється тим, що частина їх вегетації проходить у період кращого природного зволоження та нижчих температур повітря [5, 24].

Оскільки площі полів прийняті однаковими та становлять по 72 га, середньозважену зрошувальну норму можна визначити як середнє арифметичне:

$$M_{\text{сер}} = \frac{2210 + 3010 + 2710 + 2510 + 1810 + 3410 + 3010}{7} = 2670 \text{ м}^3/\text{га}. \quad ($$

Середньозважена зрошувальна норма брутто становить:

$$M_{\text{сер.бр}} = \frac{2670}{0,85} = \frac{3140 \text{ м}^3}{\text{га}} \quad (3.40)$$

Загальна потреба у воді нетто для всієї зрошуваної площі визначається за формулою:

$$W_{\text{нт}} = M_{\text{сер}} \cdot F_{\Sigma}, \quad (3.41)$$

де

$W_{\text{нт}}$ — загальна потреба у воді нетто, м³;

$M_{\text{сер}}$ — середньозважена зрошувальна норма нетто, м³/га;

F_{Σ} — площа зрошення, га.

При площі зрошення:

$$F_{\Sigma} = 504 \text{ га}, \quad (3.42)$$

загальна потреба у воді нетто становить:

$$W_{\text{нт}} = 2670 \cdot 504 = 1\,345\,680 \text{ м}^3 \quad (3.43)$$

Загальна потреба у воді брутто:

$$W_{\text{бр}} = M_{\text{сер.бр}} \cdot F_{\Sigma} = 3140 \cdot 504 = 1\,582\,560 \text{ м}^3 \quad (3.44)$$

Отже, для забезпечення потреб сільськогосподарських культур ТОВ «Оріль-Агро» у воді середньозважена зрошувальна норма нетто становить 2670 м³/га, а зрошувальна норма брутто — 3140 м³/га. Загальна сезонна потреба у воді для площі 504 га становить 1,35 млн м³ нетто та близько 1,58 млн м³ брутто. Отримані показники є основою для подальшого визначення строків поливів, графіка роботи дощувальних машин Zimmatic і розрахункової витрати води зрошувальної системи [7, 8, 24].

3.4 Визначення строків і кількості поливів

Строки та кількість поливів визначаються з урахуванням біологічних особливостей сільськогосподарських культур, тривалості їх вегетаційного періоду, критичних фаз розвитку, дефіциту водоспоживання, поливних норм і технічних можливостей дощувальних машин Zimmatic. Правильно встановлені строки поливів дають змогу підтримувати оптимальну вологість активного шару ґрунту та не допускати зниження її нижче допустимого рівня [7, 24].

Для умов проєктування приймаємо:

$$\eta = 0,85 \quad (3.48)$$

Строки поливів визначають з урахуванням періодів найбільшої потреби культур у волозі. Для зернових культур поливи необхідно проводити переважно у фази кущення, виходу в трубку, колосіння та наливу зерна. Для кукурудзи основні поливи припадають на період інтенсивного росту, викидання волоті, цвітіння та наливу зерна. Для сої найбільш важливими є фази бутонізації, цвітіння, утворення бобів і наливу насіння. Для соняшнику поливи доцільно проводити у період бутонізації, цвітіння та наливу насіння. Люцерна потребує регулярного зволоження після кожного укусу для швидкого відростання зеленої маси [5, 6].

Розрахунок кількості та строків поливів для культур сівозміни ТОВ «Оріль-Агро» наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Кількість і строки поливів сільськогосподарських культур

Культура	Зрошувальна норма нетто, м³/га	Прийнята кількість поливів	Фактична поливна норма нетто, м³/га	Поливна норма бруutto, м³/га	Орієнтовні строки проведення поливів
Пшениця озима	2210	6	368	433	квітень — червень
Кукурудза на зерно	3010	7	430	506	травень — серпень
Соя	2710	7	387	455	червень — серпень
Соняшник	2510	6	418	492	травень — серпень
Ячмінь ярий	1810	5	362	426	квітень — червень
Люцерна	3410	8	426	501	квітень — вересень
Кукурудза на зерно	3010	7	430	506	травень — серпень

Для прикладу виконаємо розрахунок для сої. Зрошувальна норма нетто для сої становить:

$$M_{\text{нт}} = \frac{2710 \text{ м}^3}{\text{га}} \quad (3.49)$$

Приймаємо кількість поливів:

$$n = 7 \quad (3.50)$$

Тоді фактична поливна норма нетто дорівнює:

$$m_{\text{ф}} = \frac{2710}{7} = 387 \text{ м}^3/\text{га} \quad (3.51)$$

Поливна норма бруutto становить:

$$m_{\text{бp}} = \frac{387}{0,85} = \frac{455 \text{ м}^3}{\text{га}} \quad (3.52)$$

Отже, для сої необхідно передбачити 7 поливів із фактичною поливною нормою нетто 387 м³/га. Основні строки проведення поливів припадають на червень–серпень, коли культура проходить фази бутонізації, цвітіння, утворення бобів і наливу насіння.

Для пшениці озимої прийнято 6 поливів із фактичною поливною нормою нетто 368 м³/га. Основні поливи проводять у квітні–червні, коли культура активно використовує вологу на формування стеблостою, колоса та зерна. Після завершення наливу зерна проведення поливів недоцільне, оскільки це може затримувати досягання і збирання врожаю [5, 24].

Для ячменю ярого прийнято 5 поливів із фактичною поливною нормою нетто 362 м³/га. Оскільки культура має коротший вегетаційний період, основна частина поливів припадає на квітень–червень. Найбільш важливими є поливи в період кущення, виходу в трубку і формування зерна. Для кукурудзи на зерно прийнято 7 поливів із фактичною поливною нормою нетто 430 м³/га. Поливи доцільно розподіляти з травня до серпня. Найбільше значення мають поливи перед викиданням волоті, у період цвітіння та під час наливу зерна. Нестача вологи в ці фази може призвести до неповного запліднення, череззерниці качанів і зниження маси зерна [5, 6].

Для соняшнику прийнято 6 поливів із фактичною поливною нормою нетто 418 м³/га. Основні поливи проводять у травні–серпні. Особливу увагу необхідно приділяти періодам бутонізації, цвітіння та наливу насіння. При цьому не слід допускати надмірного зволоження, оскільки воно може сприяти розвитку хвороб і погіршенню умов досягання культури [6].

Для люцерни прийнято 8 поливів із фактичною поливною нормою нетто 426 м³/га. Така кількість поливів пояснюється тривалим періодом вегетації та необхідністю підтримання вологи після кожного укусу. Поливи люцерни розподіляють із квітня до вересня, забезпечуючи умови для

швидкого відростання зеленої маси та формування кількох укосів за сезон [6, 24].

Для складання календаря поливів необхідно враховувати
Оскільки

$$1 \text{ мм} = 10 \text{ м}^3/\text{га}, \quad (3.54)$$

фактичну поливну норму в міліметрах визначають за формулою:

$$m_{\text{ф.мм}} = \frac{m_{\text{ф.м}^3/\text{га}}}{10}. \quad (3.55)$$

Наприклад, для кукурудзи фактична поливна норма нетто становить:

$$m_{\text{ф}} = 430 \text{ м}^3/\text{га} = 43 \text{ мм}. \quad (3.56)$$

При середньодобовому водоспоживанні в найбільш напружений період:

$$e = 5,5 \text{ мм/добу}, \quad (3.57)$$

міжполивний період становить:

$$T = \frac{43}{5,5} = 7,8 \approx 8 \text{ діб}. \quad (3.58)$$

Отже, у найбільш напружений період для кукурудзи поливи необхідно проводити приблизно через **8 діб**. Для інших культур міжполивний період може змінюватися залежно від фази розвитку, температури повітря, запасів вологи в ґрунті та фактичного водоспоживання.

На основі прийнятих строків і кількості поливів складають графік поливу сівозміни, який використовується для визначення навантаження на зрошувальну мережу та дощувальні машини Zimmatic. Такий графік дозволяє узгодити роботу поливної техніки з потребами культур, уникнути

одночасного перевантаження системи та забезпечити своєчасне проведення поливів на всіх полях [7, 8].

Отже, кількість поливів для культур сівозміни ТОВ «Оріль-Агро» становить від 5 до 8 за вегетаційний період залежно від культури та її потреби у воді. Найменша кількість поливів передбачена для ячменю ярого, найбільша — для люцерни. Строки проведення поливів узгоджуються з критичними фазами розвитку культур і періодами найбільшого дефіциту вологи. Отримані дані є основою для побудови графіка поливів і подальшого розрахунку продуктивності дощувальних машин Zimmatic [7, 8, 24].

Таблиця 3.4 – Поливні норми для прийнятої сівозміни

Сільськогосподарська культура і фаза її розвитку	γ , г/см ³	(Н), м	($\beta_{\text{нв}}$), %	($\beta_{\text{доп}}$), % від НВ	($\beta_{\text{доп}}$), %	(m), м ³ /га	Розрахункова поливна норма, м ³ /га	Прийнята поливна норма, м ³ /га
Ячмінь ярий								
посів – сходи	1,18	0,5	25,8	75	19,4	378	350	350
кущіння	1,22	0,6	25,5	80	20,4	373	350	350
трубкування – колосіння	1,25	0,8	24,8	80	19,8	500	350	350
цвітіння – налив зерна	1,25	0,8	24,8	80	19,8	500	350	350
молочна стиглість	1,26	0,8	24,6	75	18,5	615	350	350
Люцерна								
відростання після укусу	1,24	0,8	24,8	75	18,6	615	450	450
стеблування – бутонізація	1,27	1,0	24,3	80	19,4	622	450	450
бутонізація – цвітіння	1,28	1,0	24,1	75	18,1	768	450	450
після другого укусу	1,27	1,0	24,2	80	19,4	610	450	450
Пшениця озима								
відновлення вегетації	1,21	0,6	25,4	75	19,1	458	350	350
трубкування – колосіння	1,24	0,8	24,8	80	19,8	496	350	350
цвітіння	1,25	0,8	24,7	75	18,5	620	350	350
молочна стиглість	1,25	0,8	24,7	75	18,5	620	350	350
Соя								
сходи – галуження	1,18	0,5	25,7	75	19,3	378	400	400

бутонізація – цвітіння	1,22	0,7	25,2	80	20,2	427	400	400
утворення бобів	1,25	0,9	24,7	80	19,8	552	400	400
налив насіння	1,25	0,9	24,7	75	18,5	698	400	400
Соняшник								
2–4 пари листків	1,18	0,5	25,8	75	19,4	378	400	400
бутонізація	1,23	0,7	25,1	80	20,1	431	400	400
цвітіння	1,26	0,9	24,6	80	19,7	556	400	400
налив насіння	1,26	0,9	24,6	75	18,5	692	400	400
Кукурудза на зерно								
посів – сходи	1,18	0,5	25,8	75	19,4	378	450	450
5–7 листків	1,23	0,7	25,1	80	20,1	431	450	450
викидання волоті	1,26	0,8	24,8	80	19,8	504	450	450
молочна стиглість	1,26	0,8	24,8	75	18,6	625	450	450

3.5 Обґрунтування способу поливу

Вибір способу поливу є одним із важливих етапів проектування зрошувальної системи, оскільки від нього залежать рівномірність зволоження ґрунту, витрати води, продуктивність праці, енергетичні витрати, можливість механізації та автоматизації процесу поливу, а також вплив зрошення на ґрунтовий покрив і врожайність сільськогосподарських культур [7, 8].

Для умов ТОВ «Оріль-Агро» доцільним є застосування способу поливу дощуванням із використанням дощувальних машин Zimmatic. Такий спосіб найбільш повно відповідає природно-кліматичним, ґрунтовим і господарським умовам району проектування. Територія господарства розташована в степовій зоні Дніпропетровської області, де впродовж вегетаційного періоду спостерігається значний дефіцит природного зволоження, а випаровуваність перевищує кількість атмосферних опадів [1, 2].

Дощування полягає у подачі води на поверхню поля у вигляді штучного дощу. При цьому вода розподіляється по площі поля через дощувальні апарати, форсунки або розпилювачі, що встановлюються на трубопроводі

дощувальної машини. Такий спосіб поливу наближений до природного випадання атмосферних опадів і забезпечує рівномірне зволоження верхнього та кореневмісного шару ґрунту [7, 9].

Основною перевагою дощування є можливість регулювання поливної норми та інтенсивності подачі води. Це особливо важливо для чорноземних ґрунтів середньо- та важкосуглинкового гранулометричного складу, які мають достатню вологоємність, але за надмірної інтенсивності дощу можуть утворювати поверхневий стік. Тому інтенсивність штучного дощу повинна відповідати водопроникності ґрунту, щоб забезпечити вбирання води без розмиву, запливання поверхні та ерозії [5, 7].

У порівнянні з поверхневими способами поливу дощування має низку переваг. Воно не потребує складного планування поверхні поля, дозволяє використовувати зрошення на ділянках зі слабохвилястим рельєфом, забезпечує більш рівномірне зволоження ґрунту та зменшує втрати води на непродуктивне скидання. Крім того, при дощуванні можна краще регулювати строки й норми поливів відповідно до фаз розвитку сільськогосподарських культур [7, 8].

Для умов прийнятої сівозміни дощування є універсальним способом поливу, оскільки воно придатне для вирощування пшениці озимої, ячменю ярого, кукурудзи на зерно, сої, соняшнику та люцерни. Ці культури мають різну тривалість вегетаційного періоду, різну глибину розвитку кореневої системи та різну потребу у воді, однак усі вони позитивно реагують на своєчасне поповнення запасів продуктивної вологи в ґрунті [5, 6].

Особливо ефективним дощування є для культур, які мають підвищену потребу у волозі в літній період. Для кукурудзи на зерно основні поливи припадають на період викидання волоті, цвітіння та наливу зерна; для сої — на фази цвітіння, утворення бобів і наливу насіння; для соняшнику — на періоди бутонізації, цвітіння та наливу насіння; для люцерни — на періоди активного відростання після укосів. Застосування дощувальних машин дає

змогу своєчасно подавати воду саме в ці критичні фази розвитку культур [5, 6, 9].

У проєкті приймається використання дощувальних машин Zimmatic, які належать до сучасної високопродуктивної поливної техніки. Вони можуть працювати на значних площах, забезпечувати рівномірний розподіл води, підтримувати необхідний тиск у системі та здійснювати полив із заданою швидкістю руху. Такі машини можуть використовуватися як у кругових, так і у фронтальних схемах поливу залежно від конфігурації поля та прийнятої схеми зрошувальної мережі [8, 9].

Важливою перевагою машин Zimmatic є можливість автоматизації процесу поливу. Це дозволяє зменшити потребу в ручній праці, підвищити точність подачі води, своєчасно змінювати норму поливу та контролювати роботу обладнання. Завдяки цьому зрошення стає більш керованим, а використання водних ресурсів — більш раціональним [8, 9].

Дощувальні машини Zimmatic також забезпечують можливість рівномірного зволоження значних площ за відносно короткий час. Це має важливе значення в умовах Самарівського району, де в літній період можуть швидко формуватися посушливі умови. У разі затримки поливу навіть на кілька днів у критичні фази розвитку культур можливе зниження врожайності, тому технічна надійність і продуктивність поливної машини є важливими факторами [6, 8].

Під час вибору дощування враховано також особливості рельєфу території. Ділянка зрошення має переважно рівнинний або слабохвилястий характер, що є сприятливим для роботи дощувальних машин. Відсутність різко виражених перепадів висот дає змогу забезпечити стабільний рух опорних візків, рівномірний тиск у трубопроводі машини та якісне розподілення води по площі поля [2, 7].

Водночас під час експлуатації дощувальних машин необхідно враховувати вплив вітру. За підвищеної швидкості вітру може знижуватися

рівномірність розподілу води, збільшуватися знесення крапель і втрати на випаровування. Тому поливи доцільно проводити у періоди з меншою швидкістю вітру, переважно в ранкові, вечірні або нічні години. Це дозволяє підвищити ефективність використання води та якість зволоження ґрунту [4, 7].

До переваг прийнятого способу поливу можна віднести:

- рівномірне зволоження ґрунту по площі поля;
- можливість регулювання поливних норм;
- придатність для різних культур сівозміни;
- можливість використання на рівнинних і слабохвилястих ділянках;
- зменшення витрат ручної праці;
- можливість автоматизації процесу поливу;
- раціональне використання водних ресурсів;
- зменшення ризику надмірного зволоження за умови правильного вибору режиму роботи машини [7, 8, 9].

Разом із тим дощування має певні обмеження. Ефективність роботи дощувальних машин залежить від швидкості вітру, технічного стану обладнання, якості зрошувальної води, наявності фільтрації, правильного вибору робочого тиску та відповідності інтенсивності дощу водопроникності ґрунту. Тому під час проєктування і подальшої експлуатації системи необхідно забезпечити належний технічний контроль, своєчасне обслуговування машин і дотримання розрахункового режиму поливу [7, 9].

Отже, для умов ТОВ «Оріль-Агро» найбільш доцільним способом поливу є дощування з використанням дощувальних машин Zimmatic. Такий спосіб відповідає природно-кліматичним умовам району, структурі посівних площ, властивостям ґрунтового покриття та вимогам сучасного сільськогосподарського виробництва. Застосування машин Zimmatic дозволить забезпечити своєчасне й рівномірне зволоження культур,

підвищити ефективність використання води, стабілізувати врожайність і створити умови для раціонального функціонування зрошувальної системи [7, 8, 9].

3.6 Технічна характеристика дощувальних машин Zimmatic

Для проєктованої системи зрошення в ТОВ «Оріль-Агро» приймаються дощувальні машини Zimmatic виробництва компанії Lindsay. Ці машини належать до сучасних механізованих систем дощування та застосовуються для поливу сільськогосподарських культур на полях різної площі й конфігурації. Вони можуть використовуватися як у вигляді кругових машин центрального типу, так і у вигляді фронтальних машин залежно від форми поля, схеми зрошувальної мережі та розміщення джерела водопостачання [8, 9].

Дощувальні машини Zimmatic призначені для рівномірного розподілу води по площі поля у вигляді штучного дощу. Машина складається з центральної опори або водозабірної вузла, водопровідного трубопроводу, прогонових секцій, опорних візків із колесами, електроприводів, системи керування, дощувальних апаратів, регуляторів тиску та кінцевого обладнання. Вода під тиском подається в трубопровід машини, після чого через розпилювачі рівномірно розподіляється по поверхні поля [8, 9].

Конструкція машин Zimmatic має модульний характер, що дозволяє підбирати довжину машини, кількість прогонів, тип трубопроводу, кліренс, колісне обладнання та дощувальну арматуру відповідно до умов конкретного господарства. Така особливість є важливою для умов ТОВ «Оріль-Агро», оскільки поля можуть відрізнятися за площею, довжиною, формою, наявністю лісосмуг, польових доріг та інших елементів інфраструктури [8].

За типом руху дощувальні машини Zimmatic поділяються на кругові та фронтальні. Кругові машини рухаються навколо нерухомої центральної опори й зрошують поле у формі кола або сектора кола. Фронтальні машини переміщуються прямолінійно вздовж поля та забезпечують полив прямокутних або видовжених ділянок. Для полів правильної квадратної або прямокутної форми фронтальні машини дають змогу краще використовувати площу, тоді як кругові машини відзначаються простішою схемою водоподачі та високою надійністю роботи [7, 8].

Для проєктованої ділянки зрошення доцільно прийняти кругові машини центрального типу, оскільки вони забезпечують надійний полив значних площ, мають відносно просту конструкцію, зручні в експлуатації та широко застосовуються для вирощування польових культур. У разі потреби для поливу кутових або неправильної форми ділянок можуть використовуватися кінцеві дощувальні апарати або додаткові технічні рішення [8, 9].

Основними технічними параметрами дощувальної машини є довжина машини, кількість прогонів, діаметр водопровідного трубопроводу, висота кліренсу, витрата води, робочий тиск, площа поливу, швидкість руху, інтенсивність дощу, тип дощувальних апаратів і потужність електроприводів. Для систем Zimmatic ці параметри підбираються індивідуально залежно від потреб культури, площі поля та гідравлічних умов мережі [8].

У проєкті приймається використання дощувальної машини Zimmatic кругової дії з такими орієнтовними технічними параметрами.

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дощувальної машини Zimmatic

Показник	Одиниця виміру	Значення
Тип машини	—	кругова, центрального типу
Призначення	—	полив польових культур
Спосіб поливу	—	дощування
Довжина машини	м	420
Радіус зрошення з кінцевим апаратом	м	440
Кількість прогонів	шт.	7
Довжина одного прогону	м	54–61
Діаметр водопровідного трубопроводу	мм	168
Висота кліренсу	м	3,0–3,5
Площа поливу однією машиною	га	58–61
Робоча витрата води	л/с	45–55
Робочий тиск на вході в машину	МПа	0,30–0,45
Середня інтенсивність дощу	мм/хв	0,20–0,35
Тип дощувальної арматури	—	низьконапірні розпилювачі з регуляторами тиску
Привід руху	—	електричний
Напруга живлення	В	380
Керування	—	електричний пульт керування
Можливість автоматизації	—	передбачена
Основні культури для поливу	—	пшениця, ячмінь, кукурудза, соя, соняшник, люцерна

Прийнята довжина машини 420 м дозволяє забезпечити полив площі близько 55–60 га залежно від фактичного радіуса зрошення, наявності кінцевого дощувального апарата та конфігурації поля. Площа поливу круговою машиною визначається за формулою:

$$F = \frac{\pi \cdot R^2}{10000}, \quad (3.59)$$

де

F — площа поливу, га;

R — радіус зрошення, м;

π — стала величина, $\pi = 3,14$.

При радіусі зрошення:

$$R = 420 \text{ м}, \quad (3.60)$$

площа поливу становить:

$$F = \frac{3,14 \cdot 420^2}{10000} = 55,4 \text{ га}. \quad (3.61)$$

За використання кінцевого дощувального апарата радіус зрошення збільшується до:

$$R = 440 \text{ м}, \quad (3.62)$$

тоді площа поливу дорівнює:

$$F = \frac{3,14 \cdot 440^2}{10000} = 60,8 \text{ га}. \quad (3.63)$$

Отже, одна машина Zimmatic за прийнятих параметрів може забезпечити полив приблизно 58–61 га. Для зрошення площі 504 га необхідну кількість машин можна визначити за формулою:

$$N = \frac{F_{\Sigma}}{F_1}, \quad (3.64)$$

де

N — кількість дощувальних машин, шт.;

F_{Σ} — загальна площа зрошення, га;

F_1 — площа, що поливається однією машиною, га.

При загальній площі зрошення:

$$F_{\Sigma} = 504 \text{ га}, \quad (3.65)$$

та площі поливу однією машиною:

$$F_1 = 60 \text{ га}, \quad (3.66)$$

кількість машин становить:

$$N = \frac{504}{60} = 8,4. \quad (3.67)$$

Отримане значення округлюємо до більшого цілого числа:

$$N = 9 \text{ машин}. \quad (3.68)$$

Таким чином, для забезпечення поливу всієї проєктованої площі доцільно прийняти 9 дощувальних машин Zimmatic.

Діаметр водопровідного трубопроводу машини приймається 168 мм, що відповідає умовам подачі необхідної витрати води до дощувальних апаратів і забезпечення рівномірного розподілу тиску по довжині машини. Більші діаметри трубопроводу зменшують втрати напору, однак збільшують масу й вартість машини. Тому вибір діаметра має забезпечувати технічну та економічну доцільність проєктного рішення [8, 9].

Робоча витрата води однієї машини приймається в межах 45–55 л/с. Така витрата дає змогу забезпечити подачу розрахункової поливної норми на площу поля протягом установленого часу роботи. Фактична витрата залежить від довжини машини, кількості дощувальних апаратів, робочого тиску, поливної норми та швидкості руху машини [7, 8].

Робочий тиск на вході в машину приймається 0,30–0,45 МПа. Він повинен забезпечувати нормальну роботу дощувальних апаратів,

регуляторів тиску та рівномірність поливу по всій довжині машини. Недостатній тиск може призвести до погіршення якості розподілу води, а надмірний — до збільшення енергетичних витрат і зношування обладнання [8, 9].

Для зниження втрат води на випаровування та знесення вітром доцільно застосовувати низьконапірні дощувальні апарати з регуляторами тиску. Таке обладнання забезпечує більш рівномірний розподіл води, зменшує енергетичні витрати та дозволяє краще пристосувати інтенсивність дощу до водопроникності ґрунту [7, 9].

Дощувальні машини Zimmatic мають електричний привід руху, що забезпечує переміщення опорних візків навколо центральної опори. Швидкість руху машини регулюється через пульт керування і визначає поливну норму: при меншій швидкості руху подається більша норма води, а при більшій — менша. Це дозволяє змінювати режим поливу залежно від культури, фази її розвитку і фактичної вологості ґрунту [8].

Системи Zimmatic можуть комплектуватися сучасними пультами керування, які забезпечують запуск і зупинку машини, регулювання швидкості руху, контроль напрямку руху, захист від аварійних ситуацій і можливість автоматизації процесу поливу. У сучасних конфігураціях Zimmatic підтримують інтеграцію з цифровими системами керування поливом і дистанційного моніторингу FieldNET, що дозволяє управляти системою в реальному часі та підвищувати ефективність водокористування. Lindsay зазначає, що панелі керування Zimmatic є FieldNET-ready і призначені для оперативного керування роботою pivot-систем.

У модельному ряді Zimmatic є машини для різних умов: наприклад, 7500P орієнтована на невеликі поля до 60 акрів і має трубопровід 4,5 дюйма та кліренс 10,5 фута, тоді як 9500P позиціонується як важча й міцніша машина для складних умов, зокрема з 11-gauge pipeline. Для умов ТОВ «Оріль-Агро» прийняті параметри є проєктними й можуть уточнюватися

після остаточного вибору моделі, конфігурації поля, джерела водопостачання та гідравлічного розрахунку мережі.

Отже, дощувальні машини Zimmatic за своїми технічними характеристиками відповідають умовам проєктування зрошення в ТОВ «Оріль-Агро». Вони забезпечують рівномірне зволоження значних площ, можливість регулювання поливних норм, автоматизацію процесу поливу та ефективне використання водних ресурсів. Для проєктованої площі 504 га приймаємо 9 дощувальних машин Zimmatic кругової дії з орієнтовною площею поливу однієї машини близько 60 га, що дозволяє забезпечити своєчасне проведення поливів для всіх культур прийнятої сівозміни [7, 8, 9].

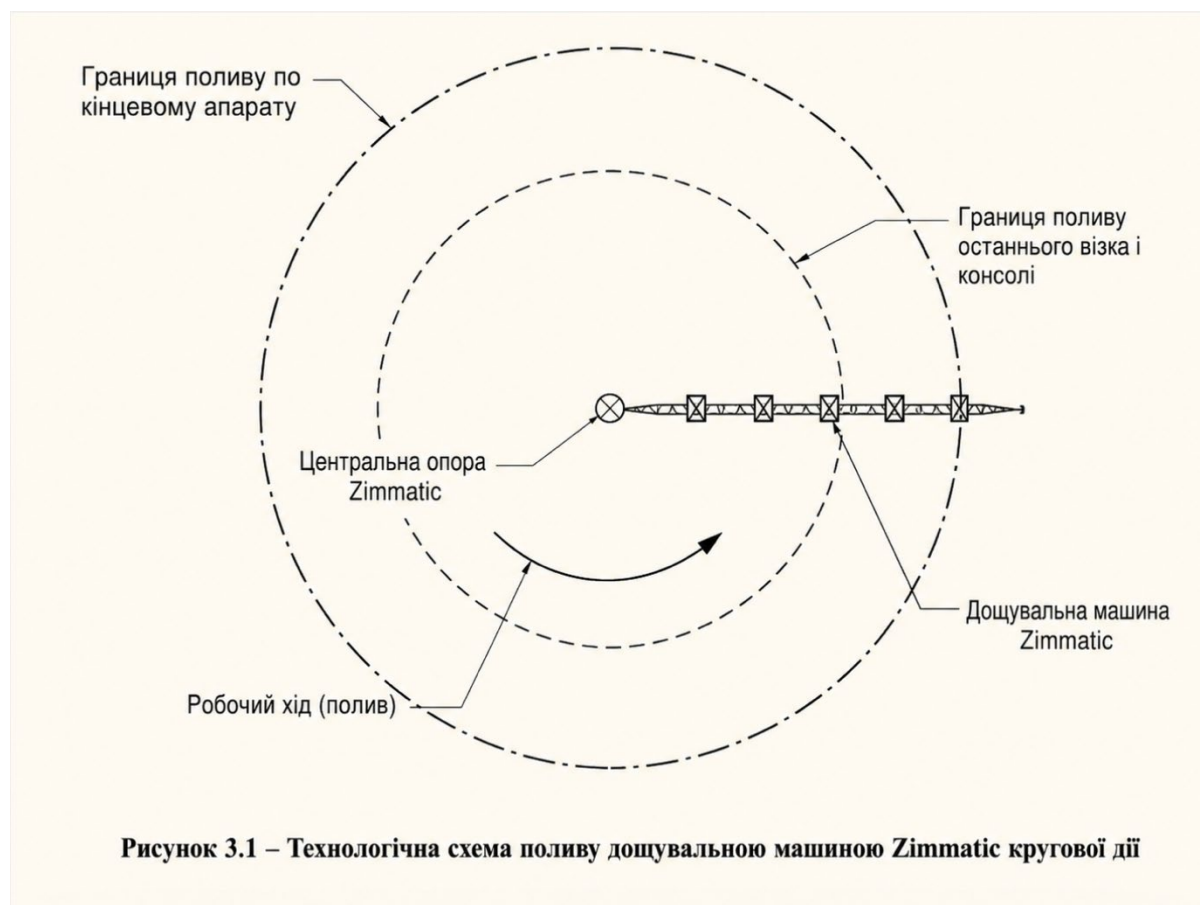


Рисунок 3.1 – Технологічна схема поливу дощувальною машиною Zimmatic кругової дії

3.7 Розрахунок продуктивності дощувальних машин Zimmatic

Продуктивність дощувальної машини є одним із основних показників, що характеризує її здатність виконувати поливи у встановлені агротехнічні строки. Вона залежить від довжини машини, площі поливу, робочої витрати води, прийнятої поливної норми, тривалості роботи протягом доби та коефіцієнта використання робочого часу [7, 8].

Для умов ТОВ «Оріль-Агро» прийнято використання дощувальних машин Zimmatic кругової дії. Одна машина забезпечує полив площі близько 60 га, а загальна площа зрошення становить 504 га. Для забезпечення поливу всієї площі приймаємо 9 дощувальних машин Zimmatic.

Для розрахунку приймаємо витрату води однієї дощувальної машини:

$$Q = 0,050 \text{ м}^3/\text{с} = 50 \text{ л/с.} \quad (3.70)$$

Тривалість роботи машини протягом доби приймаємо:

$$t = 20 \text{ год/добу.} \quad (3.71)$$

Коефіцієнт використання робочого часу приймаємо:

$$K_b = 0,85. \quad (3.72)$$

Середню поливну норму бруто приймаємо за результатами попередніх розрахунків:

$$m = 500 \text{ м}^3/\text{га.} \quad (3.73)$$

Тоді добова продуктивність однієї дощувальної машини Zimmatic становить:

$$W_d = \frac{0,050 \cdot 20 \cdot 3600 \cdot 0,85}{500} = 6,12 \text{ га/добу.} \quad (3.74)$$

Отже, одна дощувальна машина Zimmatic за прийнятих умов може полити приблизно 6,1 га за добу.

При площі поливу однією машиною:

$$F_1 = 60 \text{ га}, \quad (3.76)$$

тривалість одного повного поливу становить:

$$T_1 = \frac{60}{6,12} = 9,8 \approx 10 \text{ діб}. \quad (3.77)$$

Таким чином, одна машина Zimmatic забезпечує повний полив закріпленої за нею площі приблизно за 10 діб.

Приймаємо тривалість зміни:

$$t_{\text{зм}} = 10 \text{ год}. \quad (3.79)$$

Тоді змінна продуктивність становить:

$$W_{\text{зм}} = \frac{0,050 \cdot 10 \cdot 3600 \cdot 0,85}{500} = 3,06 \text{ га/зміну}. \quad (3.80)$$

Отже, за одну зміну одна машина Zimmatic може забезпечити полив приблизно 3,1 га.

Загальна добова продуктивність усіх прийнятих дощувальних машин визначається за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{\text{д}} \cdot N, \quad (3.81)$$

де

W_{Σ} — загальна добова продуктивність дощувальних машин, га/добу;

$W_{\text{д}}$ — добова продуктивність однієї машини, га/добу;

N — кількість дощувальних машин, шт.

При кількості машин:

$$N = 9 \text{ шт.}, \quad (3.82)$$

загальна добова продуктивність становить:

$$W_{\Sigma} = 6,12 \cdot 9 = 55,1 \text{ га/добу}. \quad (3.83)$$

Отже, усі прийняті дощувальні машини Zimmatic можуть забезпечити полив близько 55 га за добу.

При загальній площі зрошення:

$$F_{\Sigma} = 504 \text{ га}, \quad (3.85)$$

тривалість поливу всієї площі становить:

$$T_{\Sigma} = \frac{504}{55,1} = 9,1 \approx 9 \text{ діб}. \quad (3.86)$$

Отримане значення свідчить, що прийнята кількість дощувальних машин дозволяє виконати повний полив зрошуваного масиву приблизно за 9–10 діб, що відповідає допустимим міжполивним періодам для основних культур сівозміни.

Для перевірки відповідності продуктивності машин поливному режиму необхідно порівняти тривалість поливу з міжполивним періодом. У попередньому підрозділі для кукурудзи на зерно в найбільш напружений період міжполивний період становив приблизно:

$$T = 8 \text{ діб}. \quad (3.87)$$

Оскільки розрахункова тривалість поливу всієї площі становить близько 9 діб, у найбільш напружений період необхідно забезпечувати максимальне використання машинного часу, виконувати поливи у двозмінному або наближеному до цілодобового режимі та за потреби коригувати графік поливів за культурами [7, 8].

Приймаємо тривалість поливного сезону:

$$T_{\text{сез}} = 120 \text{ діб.} \quad (3.89)$$

Тоді сезонна продуктивність однієї машини становить:

$$W_{\text{сез}} = 6,12 \cdot 120 = 734 \text{ га.} \quad (3.90)$$

Це значення показує сумарну площу поливів, яку машина може виконати протягом сезону з урахуванням повторних поливів. Оскільки за однією машиною закріплено близько 60 га, вона може виконати декілька поливів цієї площі протягом вегетаційного періоду.

Отже, одна машина Zimmatic може забезпечити близько 12 повних поливів закріпленої за нею площі за сезон. Це є достатнім для прийнятої сівозміни, де кількість поливів для окремих культур становить від 5 до 8.

У літрах за секунду:

$$Q_{\Sigma} = 0,450 \cdot 1000 = 450 \text{ л/с.} \quad (3.95)$$

Отже, для одночасної роботи дев'яти дощувальних машин Zimmatic необхідно забезпечити подачу води в обсязі близько 450 л/с.

Разом із тим одночасна робота всіх машин не завжди є обов'язковою. У практичних умовах графік поливів складають так, щоб рівномірно розподілити навантаження на насосну станцію, трубопроводи та джерело зрошення. За потреби машини можуть працювати по чергові або групами, що дозволяє зменшити максимальну розрахункову витрату води та забезпечити більш стабільну роботу системи [7, 8].

Отже, розрахунок продуктивності дощувальних машин показав, що одна машина Zimmatic при витраті 50 л/с, тривалості роботи 20 год/добу, коефіцієнті використання часу 0,85 та поливній нормі 500 м³/га забезпечує добову продуктивність 6,12 га/добу. Для зрошення площі 504 га прийнято 9 машин, сумарна продуктивність яких становить 55,1 га/добу. Повний

полив зрошуваного масиву може бути виконаний приблизно за 9–10 діб, що загалом відповідає умовам вирощування прийнятих культур і дозволяє забезпечити своєчасне проведення поливів у ТОВ «Оріль-Агро» [7, 8, 24].

4 ПРОЄКТУВАННЯ І РОЗРАХУНОК ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

4.1 Вибір схеми зрошувальної мережі

Проектування зрошувальної мережі є одним із основних етапів розроблення системи зрошення, оскільки від правильно прийнятої схеми залежить надійність подачі води, рівномірність роботи дощувальних машин, втрати напору в трубопроводах, енергетичні витрати та зручність експлуатації системи. Схема зрошувальної мережі повинна забезпечувати подачу розрахункової витрати води від джерела зрошення до кожної дощувальної машини Zimmatic з необхідним напором і мінімальними втратами [7, 8].

Для умов ТОВ «Оріль-Агро» приймається замкнута напірна зрошувальна мережа, яка складається з водозабірної вузла, насосної станції, магістрального трубопроводу, розподільчих трубопроводів, гідрантів, запірної-регулюючої арматури та дощувальних машин Zimmatic кругової дії. Така схема є найбільш доцільною для сучасного дощування, оскільки забезпечує подачу води під тиском безпосередньо до поливної техніки та зменшує втрати води під час транспортування [7, 9].

Джерелом зрошення приймається річка Оріль, з якої вода подається до насосної станції. Насосна станція забезпечує необхідну витрату та напір для подачі води в замкнуту трубопровідну мережу. Від насосної станції вода надходить у магістральний трубопровід, далі — у розподільчі трубопроводи, до яких через гідранти підключаються дощувальні машини Zimmatic. Така побудова системи дозволяє забезпечити керовану подачу води на кожне поле сівозміни [8, 9].

За характером роботи зрошувальна мережа приймається напірною, оскільки дощувальні машини потребують певного робочого тиску для забезпечення рівномірного розподілу води. Напір у мережі повинен

компенсувати втрати напору в трубопроводах, місцеві втрати на арматурі, різницю геодезичних відміток і забезпечити необхідний тиск на вході в дощувальну машину [7].

За плановою побудовою для проєктованого масиву доцільно прийняти тупикову схему закритої зрошувальної мережі. Така схема передбачає подачу води від насосної станції по магістральному трубопроводу з відгалуженнями до окремих полів. На кінцевих ділянках розподільчих трубопроводів установлюються гідранти або вузли підключення дощувальних машин. Тупикова схема є простою за конструкцією, зручною в експлуатації та потребує меншої довжини трубопроводів порівняно з кільцевими схемами [7, 8].

Кільцева схема зрошувальної мережі має вищу надійність водоподачі, оскільки вода може надходити до окремих ділянок із двох напрямків. Проте така схема потребує більшої довжини трубопроводів, більшої кількості арматури та вищих капітальних витрат. Для умов ТОВ «Оріль-Агро», де зрошення передбачається дощувальними машинами на окремих полях сівозміни, застосування тупикової мережі є технічно достатнім і економічно доцільним [7, 9].

Прийнята схема зрошувальної мережі повинна забезпечувати роботу 9 дощувальних машин Zimmatic, які обслуговують загальну площу зрошення 504 га. Кожна машина закріплюється за окремою ділянкою або полем і підключається до мережі через гідрант або стаціонарний вузол подачі води. Площа, що обслуговується однією машиною, становить орієнтовно 55–60 га, залежно від фактичного радіуса поливу та наявності кінцевого дощувального апарата.

Загальна розрахункова витрата води залежить від кількості одночасно працюючих дощувальних машин. Витрата однієї машини прийнята:

$$Q_1 = 50 \text{ л/с} = 0,050 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.1)$$

Якщо одночасно працюють усі 9 машин, загальна витрата становить:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 \cdot N, \quad (4.2)$$

де

Q_{Σ} — загальна витрата води, м³/с;

Q_1 — витрата води однієї дощувальної машини, м³/с;

N — кількість одночасно працюючих машин, шт.

$$Q_{\Sigma} = 0,050 \cdot 9 = 0,450 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.3)$$

У літрах за секунду:

$$Q_{\Sigma} = 0,450 \cdot 1000 = 450 \text{ л/с}. \quad (4.4)$$

Отже, при одночасній роботі всіх дощувальних машин зрошувальна мережа повинна забезпечувати подачу води близько 450 л/с. Разом із тим у практичних умовах для зменшення навантаження на насосну станцію та трубопроводи можливе почергове або групове включення машин відповідно до графіка поливів [8].

Основними елементами прийнятої схеми зрошувальної мережі є:

- водозабір із річки Оріль;
- насосна станція для створення необхідного напору;
- магістральний трубопровід;
- розподільчі трубопроводи до полів сівозміни;
- гідранти або вузли підключення дощувальних машин;
- запірні та регулююча арматура;
- вантузи для випуску повітря;
- скидні пристрої для спорожнення трубопроводів;
- контрольно-вимірювальні прилади;
- дощувальні машини Zimmatic кругової дії [7, 9].

Магістральний трубопровід доцільно прокладати найкоротшим і найбільш зручним напрямком від насосної станції до центральної частини зрошуваного масиву. Це дає змогу зменшити довжину трубопроводів, втрати напору та вартість будівництва. Розподільчі трубопроводи необхідно розміщувати вздовж меж полів, польових доріг або технологічних проїздів, щоб забезпечити зручний доступ до гідрантів і не ускладнювати виконання польових робіт [7].

Гідранти розміщують у місцях підключення дощувальних машин. Для кругових машин Zimmatic основним вузлом подачі води є центральна опора, тому трубопровід повинен забезпечувати підведення води безпосередньо до центрального візка або стаціонарної опори машини. Таке рішення спрощує експлуатацію машини, забезпечує стабільну подачу води та дозволяє працювати машині по круговій траєкторії [8, 9].

Під час вибору схеми мережі необхідно враховувати рельєф території, конфігурацію полів, розташування джерела зрошення, напрямок природного похилу, наявність доріг, лісосмуг, балок та інших перешкод. Трубопроводи бажано прокладати так, щоб уникати зайвих перетинів із природними пониженнями, дорогами та ділянками з ускладненими інженерно-геологічними умовами [7].

Для зменшення втрат води та підвищення надійності роботи системи трубопроводи зрошувальної мережі приймаються із поліетиленових або пластикових труб, придатних для роботи під тиском. Такі труби мають достатню міцність, корозійну стійкість, відносно гладку внутрішню поверхню та забезпечують менші втрати напору порівняно з трубами з більш шорстких матеріалів [7, 9].

Прийнята замкнута мережа має такі переваги:

- зменшення втрат води під час транспортування;
- можливість подачі води безпосередньо до дощувальних машин;
- забезпечення необхідного робочого тиску;

- зручність автоматизації та регулювання роботи системи;
- зменшення площі, зайнятої відкритими каналами;
- кращі санітарно-експлуатаційні умови;
- можливість раціонального розміщення трубопроводів уздовж меж полів і доріг [7, 8].

До недоліків закритої напірної мережі можна віднести необхідність точного гідравлічного розрахунку, потребу в насосному обладнанні, вищі вимоги до якості монтажу трубопроводів і необхідність періодичного технічного обслуговування арматури. Проте ці недоліки компенсуються високою ефективністю роботи системи, зменшенням втрат води та можливістю застосування сучасних дощувальних машин [8, 9].

Отже, для проєктованої системи зрошення ТОВ «Оріль-Агро» приймається закрыта напірна тупикова схема зрошувальної мережі з механічною подачею води від річки Оріль через насосну станцію до дощувальних машин Zimmatic. Така схема є технічно обґрунтованою, відповідає умовам дощування, забезпечує необхідну витрату та напір, дає змогу раціонально розмістити трубопроводи й гідранти на зрошуваному масиві та створює умови для ефективної експлуатації системи [7, 8, 9].

4.2 Проєктування конструкції закритої зрошувальної мережі

Конструкція закритої зрошувальної мережі визначається прийнятою схемою водоподачі, розташуванням джерела зрошення, конфігурацією зрошуваних полів, кількістю дощувальних машин, необхідною витратою води та умовами експлуатації системи. Для ТОВ «Оріль-Агро» приймається закрыта напірна мережа, яка забезпечує подачу води від насосної станції до центральних опор дощувальних машин Zimmatic [7, 8].

Закрита зрошувальна мережа є найбільш доцільною для роботи з дощувальними машинами кругової дії, оскільки вона дає змогу подавати

воду під необхідним тиском безпосередньо до поливної техніки. На відміну від відкритих каналів, така мережа має менші втрати води на фільтрацію та випаровування, не займає значних площ орних земель, краще захищена від замулення й забруднення та є зручнішою в експлуатації [7, 9].

Проектована закрыта зрошувальна мережа складається з таких основних елементів:

- водозабірної споруди на річці Оріль;
- насосної станції;
- напірного магістрального трубопроводу;
- розподільчих трубопроводів;
- гідрантів або вузлів підключення до дощувальних машин;
- запірно-регулюючої арматури;
- вантузів для випуску повітря;
- скидних пристроїв для спорожнення трубопроводів;
- контрольно-вимірювального обладнання;
- дощувальних машин Zimmatic [8, 9].

Водозабірна споруда призначена для забору води з річки Оріль і подачі її до насосної станції. Вона повинна забезпечувати стабільне надходження води протягом поливного сезону, захист насосного обладнання від потрапляння крупних механічних домішок, водної рослинності та сміття. Для цього на водозаборі передбачаються решітки, сітки або інші захисні пристрої [7].

Насосна станція є основним елементом системи, що забезпечує необхідну витрату та напір у закритій мережі. Її параметри повинні відповідати сумарній витраті води, яка подається до одночасно працюючих дощувальних машин, а також враховувати втрати напору в трубопроводах, місцеві втрати на арматурі, різницю геодезичних відміток і необхідний тиск на вході в машину Zimmatic [8].

Магістральний трубопровід призначений для транспортування основного об'єму води від насосної станції до зрошуваного масиву. Його трасу доцільно прокладати найкоротшим шляхом із урахуванням рельєфу місцевості, розташування полів, польових доріг, лісосмуг і можливості подальшого технічного обслуговування. Магістральний трубопровід повинен мати достатній діаметр для пропуску розрахункової витрати води з допустимими втратами напору [7, 9].

Розподільчі трубопроводи відгалужуються від магістрального трубопроводу і подають воду до окремих полів або груп дощувальних машин. Їх прокладають уздовж меж полів або польових доріг, щоб не ускладнювати виконання агротехнічних операцій і забезпечити зручний доступ до гідрантів. Розміщення розподільчих трубопроводів повинно відповідати схемі розташування центральних опор машин Zimmatic [8].

Для підключення дощувальних машин до закритої мережі передбачаються гідранти або стаціонарні вузли водоподачі. Оскільки машини Zimmatic кругової дії працюють навколо центральної опори, вода повинна подаватися безпосередньо до центрального вузла машини. Це забезпечує стабільну роботу машини, рівномірний розподіл води по довжині трубопроводу та можливість повного кругового поливу [8, 9].

Кількість вузлів підключення визначається кількістю прийнятих дощувальних машин. У проєкті для зрошення площі 504 га прийнято 9 дощувальних машин Zimmatic, тому необхідно передбачити 9 вузлів підключення до закритої мережі. Кожен вузол повинен бути обладнаний запірною арматурою, пристроєм для приєднання машини, засобами контролю тиску та за потреби регулятором витрати [7, 8].

Трубопроводи закритої мережі приймаються з поліетиленових напірних труб, які мають достатню міцність, корозійну стійкість, невелику шорсткість внутрішньої поверхні та придатні для експлуатації в умовах зрошення. Поліетиленові труби зручні для монтажу, мають тривалий строк

служби та забезпечують менші гідравлічні втрати порівняно з трубами, що мають шорстку внутрішню поверхню [7, 9].

Для магістральних і розподільчих трубопроводів доцільно приймати труби типу ПЕ 100 відповідного класу міцності. Діаметр трубопроводів визначається гідравлічним розрахунком залежно від витрати води на окремих ділянках мережі, допустимої швидкості руху води та втрат напору. Попередньо для магістральних трубопроводів можуть застосовуватися труби більших діаметрів, а для розподільчих — менших, оскільки витрата води на них поступово зменшується [7].

Допустиму швидкість руху води в напірних трубопроводах приймають у межах, які забезпечують економічність і надійність роботи системи. Занадто мала швидкість призводить до збільшення діаметра труб і вартості будівництва, а занадто велика — до зростання втрат напору та ризику гідравлічних ударів. Для закритих зрошувальних мереж доцільно приймати швидкість руху води орієнтовно в межах 0,8–1,5 м/с [7, 9].

Отже, попередньо для головної ділянки магістрального трубопроводу можна прийняти трубу діаметром близько 700 мм з подальшим уточненням за результатами гідравлічного розрахунку.

На розподільчих трубопроводах витрата води менша, оскільки вони подають воду до окремих дощувальних машин або їх груп. Наприклад, для ділянки, що забезпечує роботу трьох машин Zimmatic, витрата становитиме:

$$Q = 3 \cdot 0,050 = 0,150 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.9)$$

При тій самій допустимій швидкості:

$$v = 1,2 \text{ м/с}, \quad (4.10)$$

орієнтовний діаметр трубопроводу дорівнює:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,150}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,40 \text{ м.} \quad (4.11)$$

Отже, для таких ділянок попередньо можна прийняти труби діаметром близько 400 мм.

Для ділянки, що забезпечує роботу однієї машини Zimmatic, витрата дорівнює:

$$Q = 0,050 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (4.12)$$

Діаметр становить:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,050}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,23 \text{ м.} \quad (4.13)$$

Тому на підвідних ділянках до окремих машин можуть застосовуватися труби діаметром близько 225–250 мм.

Закриту мережу необхідно обладнати запірною арматурою, яка забезпечує можливість відключення окремих ділянок трубопроводів для ремонту, промивання або регулювання водоподачі. Засувки або затвори встановлюють на початку відгалужень, біля вузлів підключення дощувальних машин, а також на ділянках, де необхідне секціонування мережі [7, 9].

Для нормальної експлуатації трубопроводів на підвищених точках траси необхідно передбачати вантузи. Вони призначені для автоматичного випуску повітря з трубопроводу під час заповнення мережі водою та для випуску повітря під час спорожнення. Наявність повітряних пробок може погіршувати пропускну здатність трубопроводу, викликати коливання тиску й порушувати роботу дощувальних машин [7].

У понижених точках траси трубопроводів передбачаються скидні пристрої, які дають змогу спорожнювати мережу після завершення поливного сезону, під час ремонту або промивання трубопроводів. Це особливо важливо для захисту труб і арматури в зимовий період, коли залишки води в системі можуть спричинити пошкодження обладнання при замерзанні [7, 9].

Глибину закладання трубопроводів приймають з урахуванням глибини промерзання ґрунту, умов виконання польових робіт, навантаження від сільськогосподарської техніки та необхідності захисту труб від механічних пошкоджень. Для умов району проєктування доцільно приймати глибину закладання трубопроводів не менше 1,0–1,2 м до верху труби, з уточненням залежно від діаметра трубопроводу та місцевих ґрунтових умов [7].

Конструкція вузла підключення дощувальної машини повинна забезпечувати надійне з'єднання трубопроводу з центральною опорою машини Zimmatic. У вузлі підключення доцільно передбачити запірну арматуру, манометр для контролю тиску, фланцеве або швидкокороз'ємне з'єднання, а також можливість промивання та спорожнення ділянки трубопроводу [8].

Прийнята конструкція закритої зрошувальної мережі повинна забезпечувати:

- подачу розрахункової витрати води до кожної машини;
- необхідний напір на вході в дощувальну машину;
- можливість почергового або групового включення машин;
- зручність технічного обслуговування;
- мінімальні втрати води під час транспортування;
- захист мережі від повітряних пробок і гідравлічних ударів;
- можливість спорожнення трубопроводів після завершення сезону;
- безпечну експлуатацію системи [7, 8, 9].

Отже, для ТОВ «Оріль-Агро» приймається конструкція закритої напірної зрошувальної мережі тупикового типу з магістральним і розподільчими трубопроводами з поліетиленових напірних труб. Вода від річки Оріль подається насосною станцією до магістрального трубопроводу, далі — до розподільчих трубопроводів і вузлів підключення дощувальних машин Zimmatic. Попередньо для головної ділянки магістралі приймається діаметр близько 700 мм, для групових розподільчих ділянок — близько 400 мм, а для підведення до окремих машин — 225–250 мм. Остаточні діаметри труб уточнюються під час гідравлічного розрахунку мережі [7, 8, 9].

4.3 Визначення розрахункових витрат води

Зрошувальну мережу для поливу широкозахватними дощувальними машинами Zimmatic проєктуємо у вигляді закритої напірної трубопровідної системи. Вибір такої конструкції зумовлений необхідністю подачі води під тиском безпосередньо до дощувальних машин, зменшення втрат води під час транспортування, забезпечення надійної роботи поливної техніки та раціонального використання площі зрошуваного масиву [7, 8].

Закрита зрошувальна мережа на масиві зрошення складається з розподільного трубопроводу, польових трубопроводів, гідрантів-водовипусків, запірно-регулюючої арматури, вантузів, скидних пристроїв та вузлів підключення дощувальних машин. Вода від джерела зрошення подається насосною станцією у розподільний трубопровід, а далі надходить у польові трубопроводи, які забезпечують подачу води до окремих дощувальних машин Zimmatic [7, 9].

У даній кваліфікаційній роботі магістральний канал або відкрита мережа не передбачаються, оскільки для роботи сучасних дощувальних машин доцільним є використання закритої трубопровідної системи. Така мережа забезпечує менші втрати води на фільтрацію та випаровування, не

ускладнює виконання польових робіт, не займає значних площ ріллі та дає змогу підтримувати необхідний напір на вході в дощувальну машину [7, 8]. Для проєктованої ділянки приймається один основний розподільний трубопровід 1-Кр, від якого вода розподіляється між польовими трубопроводами. З урахуванням площі зрошення 504 га, кількості полів сівозміни та прийнятої кількості дощувальних машин Zimmatic передбачаємо 6 польових трубопроводів, які забезпечують подачу води до вузлів підключення машин.

Загальна конструкція мережі приймається такою:

- розподільний трубопровід 1-Кр — довжиною 3920 м;
- польовий трубопровід 1-Кр-1 — довжиною 740 м;
- польовий трубопровід 1-Кр-2 — довжиною 815 м;
- польовий трубопровід 1-Кр-3 — довжиною 690 м;
- польовий трубопровід 1-Кр-4 — довжиною 880 м;
- польовий трубопровід 1-Кр-5 — довжиною 760 м;
- польовий трубопровід 1-Кр-6 — довжиною 1010 м.

Загальна довжина польових трубопроводів становить:

$$L_{\text{п}} = 740 + 815 + 690 + 880 + 760 + 1010 = 4895 \text{ м.} \quad (4.5)$$

Отже, загальна довжина запроектованих трубопроводів становить 8815 м.

Польові трубопроводи проєктуються з таким розрахунком, щоб забезпечити подачу води до центральних опор дощувальних машин Zimmatic. Оскільки машини кругової дії працюють навколо центральної опори, вузли підключення до мережі необхідно розміщувати в місцях установлення центральних опор. До кожного такого вузла вода подається від польового трубопроводу через гідрант-водовипуск або стаціонарний вузол приєднання [8, 9].

Кількість вузлів підключення визначається кількістю прийнятих дощувальних машин. Для зрошення площі 504 га прийнято 9 машин Zimmatic, тому в конструкції мережі передбачаємо 9 гідрантів-

водовипусків. Кожен гідрант призначений для подачі води до однієї дощувальної машини та повинен забезпечувати розрахункову витрату й необхідний тиск на вході в машину.

Витрата однієї машини приймається:

$$Q_1 = 50 \text{ л/с} = 0,050 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.8)$$

У літрах за секунду:

$$Q_\Sigma = 0,450 \cdot 1000 = 450 \text{ л/с}. \quad (4.11)$$

Таким чином, розподільний трубопровід на головній ділянці повинен бути розрахований на пропуск витрати до 450 л/с. На наступних ділянках мережі витрата поступово зменшується залежно від кількості дощувальних машин, які живляться нижче за течією води. Саме тому діаметри трубопроводів приймаються різними за ділянками та уточнюються під час гідравлічного розрахунку.

Попередньо для розподільного та польових трубопроводів приймаємо поліетиленові напірні труби ПЕ 100 SDR 17, які придатні для роботи в напірних зрошувальних системах, мають достатню міцність, корозійну стійкість і гладку внутрішню поверхню. Використання таких труб дозволяє зменшити гідравлічні втрати та підвищити довговічність мережі [7, 9].

Попередній підбір діаметрів виконуємо з урахуванням витрати води на окремих ділянках мережі. Для головної частини розподільного трубопроводу, де проходить найбільша витрата, приймаємо діаметр 630 мм. Для наступних ділянок, де витрата зменшується, приймаємо труби діаметром 500 мм, 400 мм, 315 мм та 250 мм. Для підведення води безпосередньо до однієї машини Zimmatic попередньо приймаємо трубу діаметром 225 мм.

Для нормальної експлуатації закритої мережі передбачаються оглядові та розподільні колодязі. Вони розміщуються на початку польових

трубопроводів, у місцях відгалужень і встановлення запірної арматури. Колодязі дають змогу регулювати подачу води, відключати окремі ділянки мережі для ремонту, контролювати стан арматури та виконувати експлуатаційне обслуговування [7].

На підвищених точках траси трубопроводів необхідно встановлювати вантузи для випуску повітря. Вони забезпечують видалення повітря під час заповнення мережі водою та запобігають утворенню повітряних пробок, які можуть знижувати пропускну здатність трубопроводу й викликати коливання тиску [7, 9].

У понижених точках трубопроводів передбачаються скидні пристрої. Вони призначені для спорожнення мережі після завершення поливного сезону, під час ремонту або промивання трубопроводів. Скидні пристрої особливо важливі для захисту мережі в зимовий період, оскільки залишки води в трубах можуть спричинити пошкодження арматури та фасонних частин при замерзанні [7].

Глибину закладання трубопроводів приймаємо з урахуванням глибини промерзання ґрунту, умов виконання польових робіт і захисту труб від механічних пошкоджень. Для району проєктування глибину закладання трубопроводів доцільно прийняти не менше 1,1 м до верху труби. На перетинах із польовими дорогами та в місцях руху важкої сільськогосподарської техніки необхідно передбачати додатковий захист трубопроводів [7, 9].

Конструкція вузла підключення дощувальної машини Zimmatic повинна забезпечувати подачу води до центральної опори машини з необхідною витратою та тиском. У вузлі передбачаються запірна арматура, манометр, фланцеве або швидкороз'ємне з'єднання, а також можливість промивання й спорожнення підвідної ділянки трубопроводу. Таке рішення дозволяє забезпечити зручність експлуатації та надійність роботи машини [8, 9].

Таким чином, конструкція закритої зрошувальної мережі ТОВ «Оріль-Агро» приймається у вигляді системи закритих напірних трубопроводів, що включає один розподільний трубопровід 1-Кр довжиною 3920 м і шість польових трубопроводів загальною довжиною 4895 м. Загальна довжина мережі становить 8815 м. Для підключення дощувальних машин передбачається 9 гідрантів-водовипусків, які забезпечують подачу води до машин Zimmatic кругової дії. Остаточні діаметри трубопроводів і втрати напору визначаються у наступному підрозділі під час гідравлічного розрахунку мережі [7, 8, 9].

4.4 Гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі

Гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі виконують з метою визначення діаметрів трубопроводів, швидкості руху води, втрат напору на окремих ділянках мережі та необхідного напору насосної станції. Розрахунок повинен забезпечити подачу потрібної витрати води до кожної дощувальної машини Zimmatic з урахуванням втрат напору в трубопроводах і необхідного робочого тиску на вході в машину [7, 8].

Для проєктованої системи прийнято закриту напірну тупикову мережу, яка складається з розподільного трубопроводу 1-Кр, польових трубопроводів 1-Кр-1 — 1-Кр-6 та підвідних ділянок до дощувальних машин. Загальна площа зрошення становить 504 га, кількість прийнятих дощувальних машин Zimmatic — 9 шт.

Витрата води однієї дощувальної машини приймається:

$$Q_1 = 50 \text{ л/с} = 0,050 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.12)$$

При одночасній роботі дев'яти машин загальна розрахункова витрата становить:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 \cdot N, \quad (4.13)$$

де

Q_{Σ} — загальна розрахункова витрата води, м³/с;

Q_1 — витрата однієї дощувальної машини, м³/с;

N — кількість одночасно працюючих машин, шт.

$$Q_{\Sigma} = 0,050 \cdot 9 = 0,450 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.14)$$

У літрах за секунду:

$$Q_{\Sigma} = 0,450 \cdot 1000 = 450 \text{ л/с}. \quad (4.15)$$

Отже, головна ділянка розподільного трубопроводу повинна бути розрахована на пропуск витрати 450 л/с. На наступних ділянках витрата води зменшується відповідно до кількості машин, що живляться нижче за напрямком руху води.

Розрахунок виконуємо для найбільш навантажених ділянок мережі. Діаметри трубопроводів приймаємо з урахуванням допустимих швидкостей руху води в закритій зрошувальній мережі. Для напірних трубопроводів доцільно приймати швидкість води в межах 0,8–1,5 м/с, що забезпечує економічне співвідношення між діаметром труб і втратами напору [7, 9].

Для головної ділянки розподільного трубопроводу приймаємо:

$$Q = 0,450 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.19)$$

$$d = 0,630 \text{ м}. \quad (4.20)$$

Тоді швидкість руху води становить:

$$v = \frac{4 \cdot 0,450}{3,14 \cdot 0,630^2} = 1,44 \text{ м/с}. \quad (4.21)$$

Отримана швидкість перебуває в допустимих межах, тому попередньо прийнятий діаметр 630 мм для головної ділянки розподільного трубопроводу є прийнятним.

Для ділянки польового трубопроводу, що забезпечує роботу двох машин, витрата становить:

$$Q = 2 \cdot 0,050 = 0,100 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.22)$$

При прийнятому діаметрі:

$$d = 0,315 \text{ м}, \quad (4.23)$$

швидкість руху води дорівнює:

$$v = \frac{4 \cdot 0,100}{3,14 \cdot 0,315^2} = 1,28 \text{ м/с}. \quad (4.24)$$

Швидкість також відповідає допустимим значенням, тому для польових трубопроводів, які живлять дві машини, можна приймати діаметр 315 мм.

Для підвідної ділянки до однієї машини витрата становить:

$$Q = 0,050 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.25)$$

При діаметрі:

$$d = 0,250 \text{ м}, \quad (4.26)$$

швидкість руху води становить:

$$v = \frac{4 \cdot 0,050}{3,14 \cdot 0,250^2} = 1,02 \text{ м/с}. \quad (4.27)$$

Отже, діаметр 250 мм для ділянок, що живлять одну машину, також є допустимим.

Результати гідравлічного розрахунку розподільного трубопроводу наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гідравлічний розрахунок розподільного трубопроводу 1-Кр

Ділянка трубопроводу	Довжина, м	Витрата, м³/с	Діаметр, мм	Швидкість, м/с	Втрати напору, м
1-Кр-0	620	0,450	630	1,44	2,09
1-Кр-1	700	0,400	630	1,28	1,86
1-Кр-2	680	0,300	560	1,22	1,84
1-Кр-3	640	0,250	500	1,27	2,12
1-Кр-4	660	0,150	400	1,19	2,40
1-Кр-5	620	0,050	250	1,02	2,62
Разом	3920	—	—	—	12,93

Загальні втрати напору по довжині розподільного трубопроводу становлять:

$$h_{1-Кр} = 2,09 + 1,86 + 1,84 + 2,12 + 2,40 + 2,62 = 12,93 \text{ м.} \quad (4.28)$$

Польові трубопроводи розраховуємо з урахуванням витрати, яка подається до відповідної кількості дощувальних машин. Якщо польовий трубопровід забезпечує роботу двох машин, його розрахункова витрата приймається 0,100 м³/с, якщо однієї машини — 0,050 м³/с.

Результати розрахунку польових трубопроводів наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Гідравлічний розрахунок польових трубопроводів

Польовий трубопровід	Довжина, м	Кількість машин	Витрата, м³/с	Діаметр, мм	Швидкість, м/с	Втрати напору, м
1-Кр-1	740	2	0,100	315	1,28	3,94
1-Кр-2	815	2	0,100	315	1,28	4,34
1-Кр-3	690	1	0,050	250	1,02	2,92
1-Кр-4	880	2	0,100	315	1,28	4,69
1-Кр-5	760	1	0,050	250	1,02	3,22
1-Кр-6	1010	2	0,100	315	1,28	5,38

За результатами розрахунку найбільші втрати напору серед польових трубопроводів спостерігаються на трубопроводі 1-Кр-6 і становлять:

$$h_{\Pi \max} = 5,38 \text{ м.} \quad (4.29)$$

Це пояснюється найбільшою довжиною даного польового трубопроводу — 1010 м. Водночас швидкість руху води в ньому становить 1,28 м/с, що відповідає допустимим межах для напірних зрошувальних трубопроводів.

Для найбільш несприятливого напрямку водоподачі приймаємо втрати напору по довжині як суму втрат у розподільному трубопроводі та найбільшому польовому трубопроводі:

$$h_l = h_{1-\text{Кр}} + h_{\Pi \max}. \quad (4.31)$$

$$h_l = 12,93 + 5,38 = 18,31 \text{ м.} \quad (4.32)$$

Місцеві втрати напору становлять:

$$h_m = 0,10 \cdot 18,31 = 1,83 \text{ м.} \quad (4.33)$$

Отже, повні втрати напору в найбільш несприятливому напрямку закритої зрошувальної мережі становлять приблизно 20,1 м.

Для дощувальної машини Zimmatic приймаємо робочий напір на вході:

$$H_m = 40 \text{ м.} \quad (4.37)$$

Різницю геодезичних відміток попередньо приймаємо:

$$\Delta z = 6 \text{ м.} \quad (4.38)$$

Тоді необхідний напір становить:

$$H_{\text{потр}} = 40 + 20,14 + 6 = 66,14 \text{ м.} \quad (4.39)$$

З урахуванням резерву на можливі додаткові втрати, коливання рівня води, забруднення фільтрів і старіння трубопроводів приймаємо розрахунковий напір:

$$H_{\text{розр}} = 70 \text{ м.} \quad (4.40)$$

Отже, насосне обладнання повинно забезпечувати подачу води з розрахунковою витратою до $0,450 \text{ м}^3/\text{с}$ та напором близько 70 м.

Для перевірки правильності прийнятих діаметрів порівнюємо отримані швидкості руху води з допустимими значеннями. У розподільному трубопроводі швидкість змінюється від 1,02 до 1,44 м/с, а в польових трубопроводах — від 1,02 до 1,28 м/с. Ці значення перебувають у допустимих межах, тому прийняті діаметри трубопроводів можна вважати обґрунтованими.

Отже, гідравлічний розрахунок закритої зрошувальної мережі показав, що прийнята система трубопроводів забезпечує подачу необхідної витрати води до дощувальних машин Zimmatic. Для головних ділянок розподільного трубопроводу прийняті діаметри 630–250 мм, для польових трубопроводів — 315 і 250 мм. Швидкість руху води перебуває в допустимих межах і становить 1,02–1,44 м/с. Повні втрати напору в

найбільш несприятливому напрямку становлять близько 20,1 м, а необхідний розрахунковий напір насосної станції приймається 70 м.

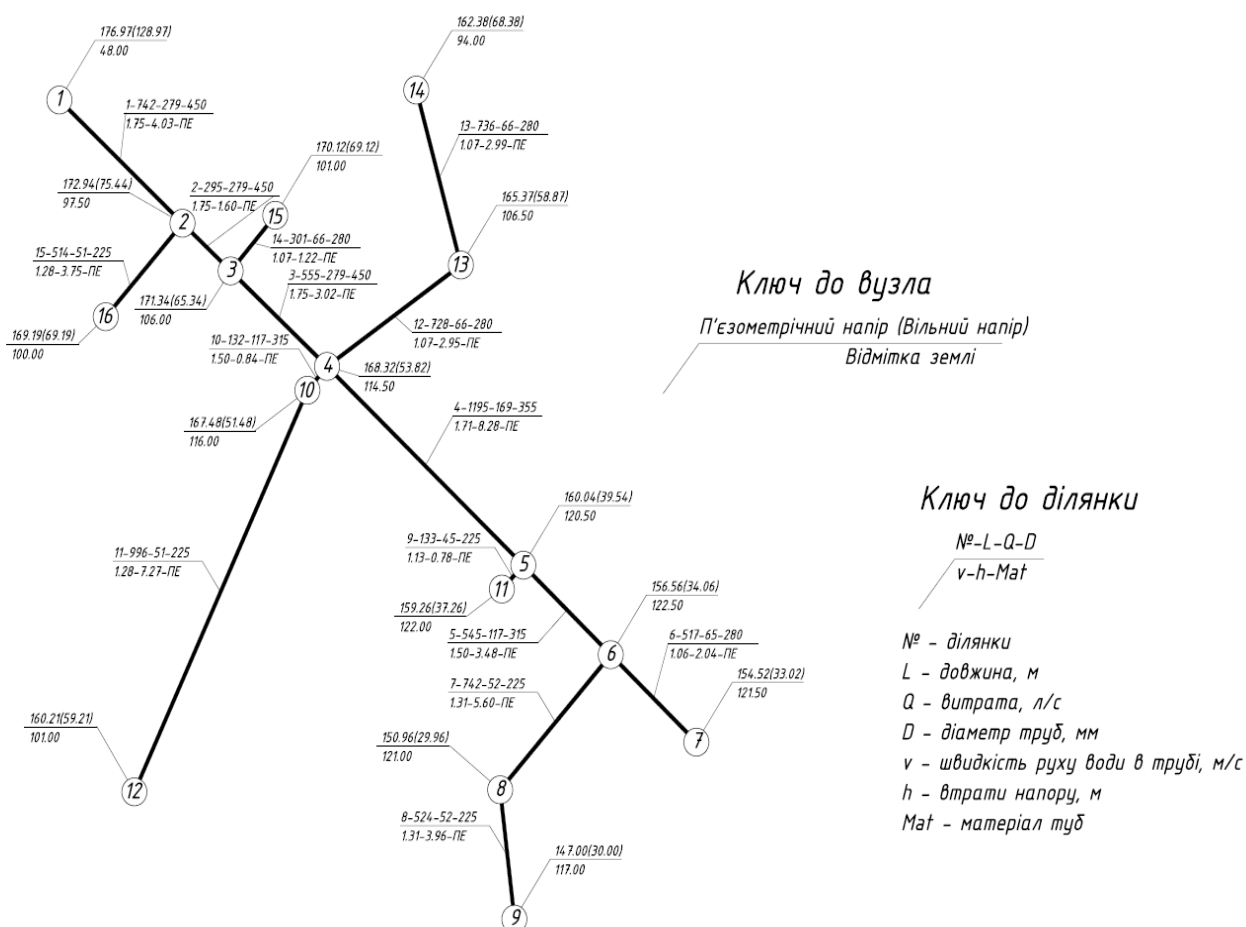


Рисунок 4.1 – Схема до гідравлічного розрахунку

4.5 Підбір насосного обладнання

Підбір насосного обладнання виконують з метою забезпечення подачі розрахункової витрати води до закритої зрошувальної мережі з необхідним напором для роботи дощувальних машин Zimmatic. Насосна станція повинна забезпечувати стабільну подачу води від річки Оріль до розподільного трубопроводу та підтримувати тиск, достатній для подолання втрат напіру в мережі й нормальної роботи поливної техніки [7, 8].

За результатами гідравлічного розрахунку закритої зрошувальної мережі встановлено, що при одночасній роботі 9 дощувальних машин Zimmatic загальна розрахункова витрата води становить:

$$Q_{\Sigma} = 0,450 \text{ м}^3/\text{с} = 450 \text{ л/с.} \quad (4.41)$$

Необхідний розрахунковий напір насосної станції прийнято:

$$H_{\text{розр}} = 70 \text{ м.} \quad (4.42)$$

Підбір насосного обладнання виконуємо з урахуванням можливості групової роботи насосів. Оскільки вся зрошувальна площа обслуговується 9 машинами Zimmatic, доцільно прийняти роботу насосної станції за схемою 3 робочі насосні агрегати + 1 резервний. У такому разі один насосний агрегат забезпечує роботу трьох дощувальних машин.

Витрата одного насосного агрегату визначається за формулою:

$$Q_{\text{н}} = \frac{Q_{\Sigma}}{n}, \quad (4.43)$$

де

$Q_{\text{н}}$ — подача одного насосного агрегату, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_{Σ} — загальна розрахункова витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$;

n — кількість робочих насосних агрегатів, шт.

Приймаємо:

$$n = 3 \text{ шт.} \quad (4.44)$$

Тоді подача одного насосного агрегату становить:

$$Q_{\text{н}} = \frac{0,450}{3} = 0,150 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (4.45)$$

У літрах за секунду:

$$Q_H = 0,150 \cdot 1000 = 150 \text{ л/с.} \quad (4.46)$$

У метрах кубічних за годину:

$$Q_H = 0,150 \cdot 3600 = 540 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.47)$$

Отже, один насосний агрегат повинен забезпечувати подачу приблизно 150 л/с, або 540 м³/год, при напорі близько 70 м.

Тоді потужність одного насосного агрегату становить:

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,150 \cdot 70}{1000 \cdot 0,78} = 132 \text{ кВт.} \quad (4.54)$$

З урахуванням запасу потужності електродвигуна приймаємо коефіцієнт запасу:

$$K_3 = 1,15. \quad (4.55)$$

Розрахункова потужність електродвигуна становить:

$$N_{\text{дв}} = N \cdot K_3. \quad (4.56)$$

$$N_{\text{дв}} = 132 \cdot 1,15 = 151,8 \text{ кВт.} \quad (4.57)$$

Отримане значення округлюємо до найближчої стандартної потужності електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = 160 \text{ кВт.} \quad (4.58)$$

Отже, для одного насосного агрегату приймаємо електродвигун потужністю 160 кВт.

Для забезпечення розрахункової витрати води приймаємо насосні агрегати відцентрового типу. За своїми параметрами для проєктованої насосної станції може бути прийнятий насос типу Д 500-70 або аналогічний

за характеристиками, з подачею близько 500–540 м³/год і напором близько 70 м.

Отже, для забезпечення роботи закритої зрошувальної мережі ТОВ «Оріль-Агро» приймається насосна станція у складі 4 відцентрових насосних агрегатів, з яких 3 робочі та 1 резервний. Подача одного насосного агрегату становить 150 л/с, або 540 м³/год, при розрахунковому напорі 70 м. Потужність електродвигуна одного агрегату приймається 160 кВт. Прийняте насосне обладнання забезпечує сумарну подачу 450 л/с, що відповідає потребам одночасної роботи 9 дощувальних машин Zimmatic та забезпечує надійну подачу води на площу зрошення 504 га [7, 8, 9].

4.6 Проектування гідротехнічних споруд на зрошувальній мережі

Гідротехнічні споруди на зрошувальній мережі призначені для забору, подачі, розподілу, регулювання та контролю води в системі зрошення. Вони забезпечують надійну роботу закритої напірної мережі, насосного обладнання та дощувальних машин Zimmatic. Правильне проектування гідротехнічних споруд дає змогу зменшити втрати води, забезпечити стабільний тиск у трубопроводах, захистити мережу від аварійних режимів і створити зручні умови для експлуатації [7, 8].

Для проєктованої зрошувальної системи ТОВ «Оріль-Агро» передбачається влаштування комплексу гідротехнічних споруд, які забезпечують забір води з річки Оріль, її подачу насосною станцією до закритої мережі, розподіл між польовими трубопроводами та підключення дощувальних машин Zimmatic.

До складу гідротехнічних споруд на зрошувальній мережі входять:

- водозабірна споруда на річці Оріль;
- насосна станція;
- напірний розподільний трубопровід;

- розподільні та оглядові колодязі;
- гідранти-водовипуски для підключення дощувальних машин;
- запірно-регулююча арматура;
- вантузи для випуску повітря;
- скидні пристрої для спорожнення мережі;
- контрольно-вимірювальні пристрої;
- фасонні частини трубопроводів.

Водозабірна споруда призначена для забору води з річки Оріль і подачі її до насосної станції. Вона повинна забезпечувати стабільне надходження води протягом поливного сезону та захищати насосне обладнання від потрапляння сміття, мулу, водної рослинності й крупних механічних домішок. Для цього у складі водозабірної вузла передбачаються приймальний оголовок, захисна решітка, сітчастий фільтр грубого очищення та підвідний водовід до насосної станції [7, 9].

Водозабір необхідно розміщувати на ділянці річки зі стійким руслом, достатньою глибиною води та зручним підходом для експлуатації. Місце водозабору повинно забезпечувати мінімальне замулення приймального оголовка й можливість обслуговування захисних решіток. Забір води доцільно здійснювати з шару, де менша концентрація донних наносів і плаваючих домішок.

Насосна станція є головною напірною спорудою зрошувальної системи. Вона забезпечує подачу води з річки Оріль до закритої зрошувальної мережі з розрахунковою витратою та необхідним напором. У попередньому підрозділі прийнято насосну станцію у складі 4 насосних агрегатів, з яких 3 робочі та 1 резервний. Подача одного агрегату становить 150 л/с, а загальна робоча подача насосної станції — 450 л/с.

Насосна станція повинна бути обладнана всмоктувальними та напірними трубопроводами, засувками, зворотними клапанами, манометрами, витратоміром, пристроями захисту електродвигунів,

системою аварійного відключення та засобами регулювання подачі води. Для підвищення ефективності роботи доцільно передбачити можливість почергового включення насосів залежно від кількості працюючих дощувальних машин [8, 9].

На напірній лінії після насосної станції встановлюють запірну арматуру та зворотний клапан. Зворотний клапан необхідний для запобігання зворотному руху води після зупинки насосів, а засувка дає змогу відключати насосну станцію або окрему ділянку трубопроводу під час ремонту чи обслуговування.

Розподільні та оглядові колодязі влаштовуються в місцях відгалужень від розподільного трубопроводу, на початку польових трубопроводів, у місцях встановлення запірної арматури, вантузів, скидних пристроїв і гідрантів. Вони забезпечують доступ до арматури, дають змогу виконувати огляд, регулювання, ремонт і промивання окремих ділянок мережі [7].

Колодязі доцільно проєктувати із залізобетонних збірних елементів або монолітного залізобетону. Їх розміри повинні забезпечувати зручне розміщення арматури та безпечний доступ експлуатаційного персоналу. Верх колодязів обладнується люками, які повинні бути розташовані на рівні поверхні землі або трохи вище для запобігання потраплянню поверхневого стоку всередину споруди.

Гідранти-водовипуски призначені для подачі води з польових трубопроводів до дощувальних машин Zimmatic. Оскільки машини кругової дії працюють навколо центральної опори, гідранти розміщують у точках встановлення центральних опор або безпосередньо біля них. Кожен гідрант повинен забезпечувати подачу витрати, необхідної для роботи однієї машини:

$$Q_1 = 50 \text{ л/с} = 0,050 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.67)$$

Кількість гідрантів визначається кількістю дощувальних машин:

Для проєктованої системи:

$$n_m = 9 \text{ шт.} \quad (4.69)$$

Тому:

$$n_r = 9 \text{ шт.} \quad (4.70)$$

Отже, на закритій зрошувальній мережі передбачається встановлення 9 гідрантів-водовипусків для підключення дощувальних машин Zimmatic. Гідрантний вузол повинен складатися із запірної арматури, патрубку підключення, манометра для контролю тиску, фланцевого або швидкокороз'ємного з'єднання та пристрою для промивання. У місці підключення машини необхідно забезпечити робочий тиск, прийнятий для дощувальної машини Zimmatic:

$$H_m = 40 \text{ м.} \quad (4.71)$$

Цей напір необхідний для нормальної роботи розпилювачів, регуляторів тиску та забезпечення рівномірного розподілу води по довжині машини [8].

Запірно-регулююча арматура передбачається на початку розподільного трубопроводу, у місцях відгалуження польових трубопроводів, перед гідрантами та на ділянках, які потрібно відключати для ремонту або промивання. Вона дає змогу регулювати подачу води, запускати й зупиняти окремі дощувальні машини, виконувати аварійне відключення ділянок мережі та проводити технічне обслуговування без повної зупинки всієї системи [7, 9].

Вантузи встановлюють у найвищих точках траси трубопроводів, а також на довгих ділянках із можливим накопиченням повітря. Вони призначені для випуску повітря під час заповнення мережі водою та для впуску повітря під час спорожнення трубопроводів. Наявність повітря в

трубопроводі може зменшувати його пропускну здатність, викликати гідравлічні удари й порушувати стабільність роботи дощувальних машин [7].

Кількість вантузів визначають залежно від профілю траси трубопроводів. Попередньо для проєктованої мережі приймаємо встановлення вантузів на початку розподільного трубопроводу, у підвищених точках польових трубопроводів та біля найбільш віддалених гідрантів. Орієнтовно передбачається 8 вантузів.

Скидні пристрої розміщують у найнижчих точках трубопровідної мережі. Вони призначені для спорожнення трубопроводів після завершення поливного сезону, перед ремонтом, промиванням або консервацією системи на зимовий період. Скид води повинен здійснюватися у понижені ділянки місцевості або спеціально передбачені водоприймальні канали без розмиву ґрунту та підтоплення сільськогосподарських угідь [7, 9].

Для проєктованої закритої мережі попередньо приймаємо встановлення скидних пристроїв на кінцевих ділянках польових трубопроводів і в понижених місцях розподільного трубопроводу. Орієнтовна кількість скидних пристроїв становить 6 шт.

Контрольно-вимірювальні пристрої передбачаються для контролю роботи системи. До них належать манометри, витратоміри, датчики тиску та пристрої контролю роботи насосного обладнання. Манометри встановлюють на насосній станції, на початку розподільного трубопроводу та біля гідрантів. Витратомір доцільно встановити на напірному трубопроводі після насосної станції для контролю фактичної подачі води в систему.

Для захисту мережі від гідравлічних ударів необхідно передбачати плавний пуск і зупинку насосних агрегатів, поступове відкривання та закривання засувки, встановлення зворотних клапанів і за потреби пристроїв гасіння гідравлічних ударів. Особливо важливим є дотримання

правил запуску системи після тривалої перерви, коли трубопроводи заповнюються водою й із них необхідно випустити повітря [7, 8].

Конструктивне розміщення споруд повинно відповідати трасуванню закритої мережі. Розподільні колодязі розміщують у місцях відгалуження польових трубопроводів від розподільного трубопроводу **1-Кр**. Оглядові колодязі та гідранти встановлюють у місцях підключення дощувальних машин. Вантузи розташовують на підвищених точках траси, а скидні пристрої — у понижених точках і на кінцевих ділянках трубопроводів.

Особливу увагу необхідно приділити вузлам підключення машин **Zimmatic**. Кожен вузол повинен забезпечувати надійне приєднання до центральної опори машини, можливість контролю тиску, відключення машини від мережі та промивання підвідної ділянки. Біля гідранта необхідно передбачити зручний під'їзд для обслуговування та безпечне розміщення обладнання.

Для забезпечення довговічності гідротехнічних споруд усі металеві елементи повинні мати антикорозійний захист. Колодязі необхідно захищати від потрапляння поверхневих вод, а люки повинні бути міцними й безпечними для руху сільськогосподарської техніки. На ділянках перетину трубопроводів із польовими дорогами потрібно передбачати посилення захисту труб і арматури.

Під час експлуатації гідротехнічних споруд необхідно регулярно перевіряти стан засувок, манометрів, гідрантів, вантузів і скидних пристроїв. Перед початком поливного сезону виконують огляд насосної станції, промивання трубопроводів, перевірку герметичності з'єднань і пробний запуск системи. Після завершення сезону мережу спорожнюють, очищають і готують до зимового періоду [7, 9].

Отже, на закритій зрошувальній мережі ТОВ «Оріль-Агро» передбачається комплекс гідротехнічних споруд, який забезпечує забір води з річки **Оріль**, її подачу насосною станцією, розподіл між польовими

трубопроводами та підключення **9 дощувальних машин Zimmatic**. Основними спорудами є водозабір, насосна станція, розподільні й оглядові колодязі, гідранти-водовипуски, запірна арматура, вантузи та скидні пристрої. Прийняті споруди забезпечують надійну, безпечну та ефективну роботу зрошувальної системи [7, 8, 9].

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Загальна характеристика системи охорони праці в ТОВ «Оріль-Агро»

Охорона праці в ТОВ «Оріль-Агро» є важливою складовою організації виробничої діяльності, оскільки експлуатація зрошувальної системи пов'язана з використанням насосного обладнання, електроустановок, закритої напірної трубопровідної мережі, гідротехнічних споруд і дощувальних машин Zimmatic. Робота цих елементів потребує дотримання встановлених вимог безпеки, виробничої дисципліни, правильного технічного обслуговування обладнання та постійного контролю за його технічним станом [31, 32].

Система охорони праці в господарстві повинна бути спрямована на створення безпечних умов праці для працівників, які виконують експлуатацію, ремонт і технічне обслуговування зрошувальної системи. Основними завданнями охорони праці є запобігання виробничому травматизму, зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, проведення інструктажів, навчання безпечним методам роботи та контроль за виконанням вимог безпеки [31].

Організація охорони праці в ТОВ «Оріль-Агро» передбачає призначення відповідальних осіб за стан охорони праці, проведення вступного, первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів, навчання працівників безпечним методам роботи, перевірку знань з охорони праці, забезпечення персоналу спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Також необхідним є ведення журналів інструктажів, журналів технічного обслуговування обладнання та

своєчасна розробка інструкцій з охорони праці для окремих видів робіт [31, 32].

Особливістю експлуатації зрошувальної системи є те, що значна частина робіт виконується на відкритому повітрі, у польових умовах. Працівники можуть перебувати під впливом високої температури повітря, сонячної радіації, вітру, атмосферних опадів, підвищеної вологості, пилу та інших природних факторів. Крім того, під час експлуатації системи можливий контакт із обладнанням, яке працює під тиском, електричним струмом, рухомими частинами насосів, електродвигунів і дощувальних машин [32, 33].

До робіт з експлуатації зрошувальної системи допускаються працівники, які пройшли медичний огляд, навчання, інструктаж з охорони праці та перевірку знань безпечних методів роботи. Працівники, які обслуговують електрообладнання насосної станції та дощувальних машин Zimmatic, повинні мати відповідну групу з електробезпеки та знати порядок дій у разі виникнення аварійної ситуації або ураження електричним струмом [33].

На об'єктах зрошувальної системи необхідно передбачити наявність попереджувальних знаків, інструкцій з безпечної експлуатації обладнання, схем розміщення основних елементів мережі, засобів пожежогасіння та аптечок першої допомоги. Особливо це стосується насосної станції, електрощитових, водозабірної споруди, гідрантів, вузлів підключення дощувальних машин і місць розташування запірно-регулюючої арматури.

Відповідальність за організацію охорони праці в господарстві покладається на керівника підприємства. Безпосередній контроль за дотриманням вимог безпеки під час виконання робіт здійснюють відповідальні посадові особи. Працівники, зі свого боку, зобов'язані дотримуватися вимог інструкцій з охорони праці, використовувати засоби індивідуального захисту, не допускати самовільного втручання в роботу

обладнання та негайно повідомляти керівника робіт про виявлені несправності.

Для працівників, які обслуговують насосну станцію, закриту трубопровідну мережу та дощувальні машини, повинні бути розроблені окремі інструкції з охорони праці. У цих інструкціях необхідно передбачити вимоги безпеки перед початком роботи, під час виконання виробничих операцій, після завершення роботи, а також порядок дій у разі аварії, пожежі, пошкодження трубопроводу, раптового зниження або підвищення тиску в мережі.

Важливе значення має профілактичне технічне обслуговування зрошувальної системи. Перед початком поливного сезону необхідно перевірити стан насосних агрегатів, електродвигунів, електропроводки, заземлення, запірної арматури, гідрантів, вантузів, скидних пристроїв, трубопроводів, дощувальних апаратів і системи керування машин Zimmatic. Виявлені несправності мають бути усунені до запуску системи в експлуатацію.

Під час роботи зрошувальної системи працівники повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям, захисними рукавицями, засобами захисту від ураження електричним струмом, а за потреби — засобами захисту органів слуху та зору. У літній період необхідно враховувати ризик перегрівання організму, тому роботи слід організовувати з урахуванням температурного режиму, перерв для відпочинку та забезпечення працівників питною водою.

Отже, система охорони праці в ТОВ «Оріль-Агро» повинна забезпечувати безпечну експлуатацію всіх елементів зрошувальної системи: водозабору, насосної станції, закритої трубопровідної мережі, гідрантів і дощувальних машин Zimmatic. Її ефективність залежить від належної організації робіт, навчання персоналу, справності обладнання,

своєчасного технічного обслуговування та суворого дотримання вимог безпеки [31, 32, 33].

5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час експлуатації зрошувальної системи

Експлуатація зрошувальної системи в ТОВ «Оріль-Агро» супроводжується впливом на працівників низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Вони виникають під час роботи насосної станції, обслуговування закритої напірної мережі, підключення дощувальних машин Zimmatic, регулювання гідрантів, ремонту трубопроводів, огляду запірної арматури та виконання робіт у польових умовах.

До основних небезпечних факторів під час експлуатації зрошувальної системи належать ураження електричним струмом, дія рухомих частин насосного та поливного обладнання, підвищений тиск у трубопроводах, можливість виникнення гідравлічного удару, підвищений рівень шуму та вібрації на насосній станції, слизькі поверхні біля водозабору й гідрантів, робота поблизу водойми, а також небезпека травмування під час обслуговування дощувальних машин і трубопровідної мережі [32, 33].

Найбільш небезпечним фактором є можливість ураження електричним струмом. Насосна станція, електродвигуни, пульти керування, електрощити та дощувальні машини Zimmatic працюють із використанням електричної енергії. Підвищена вологість, контакт із водою, пошкодження ізоляції або несправність заземлення значно збільшують небезпеку ураження працівників струмом. Тому всі електроустановки повинні мати справне заземлення, захисне відключення, ізоляцію струмопровідних частин і бути недоступними для сторонніх осіб [33].

Під час роботи насосного обладнання небезпеку становлять рухомі та обертові частини: вали, муфти, електродвигуни, робочі колеса насосів.

Контакт працівника з такими елементами може призвести до механічного травмування. Для запобігання цьому всі рухомі частини обладнання повинні бути закриті захисними кожухами, а ремонт або регулювання насосів допускається тільки після їх повної зупинки, відключення від електроживлення та зниження тиску в системі.

Закрита зрошувальна мережа працює під тиском, тому небезпеку становлять раптові розриви трубопроводів, пошкодження фасонних частин, несправність гідрантів, засувок або з'єднань. Вода, що виходить під тиском, може спричинити травмування працівників, розмив ґрунту, підтоплення окремих ділянок і пошкодження обладнання. Перед виконанням ремонтних робіт ділянку трубопроводу необхідно відключити, спорожнити та переконатися у відсутності залишкового тиску.

Особливу небезпеку становлять гідравлічні удари, які можуть виникати під час різкого відкривання або закривання засувок, раптової зупинки насосних агрегатів, швидкого запуску системи або наявності повітря в трубопроводі. Гідравлічний удар може призвести до пошкодження трубопроводів, арматури, гідрантів і насосного обладнання. Для його запобігання необхідно забезпечувати плавний запуск насосів, поступове відкривання запірної арматури, справну роботу зворотних клапанів і вантузів [7, 33].

Під час обслуговування дощувальних машин Zimmatic небезпеку становлять рухомі опорні візки, колеса, електроприводи, елементи ходової частини та конструкції машини. Забороняється перебувати в зоні руху машини, виконувати ремонт під час її роботи, підніматися на конструкцію без потреби, торкатися електрообладнання при ввімкненому живленні або самовільно змінювати налаштування системи керування.

На насосній станції можуть діяти підвищені рівні шуму та вібрації. Тривалий вплив шуму негативно впливає на органи слуху, нервову систему та загальний стан працівників. Підвищена вібрація може свідчити про

порушення центрування насосного агрегату, зношення підшипників або несправність робочого колеса. Для зменшення впливу цих факторів необхідно забезпечувати своєчасне технічне обслуговування обладнання, правильне центрування насосів та електродвигунів, а за потреби — використовувати засоби індивідуального захисту органів слуху [32].

Робота біля водозабірної споруди пов'язана з ризиком падіння у воду, послизання на вологих поверхнях, травмування під час очищення захисних решіток і сіток. Місця роботи біля води повинні бути обладнані огороженнями, поручнями, настилами та попереджувальними знаками. Працівникам забороняється виконувати роботи біля водозабору без дозволу відповідальної особи та без дотримання встановлених вимог безпеки.

У польових умовах на працівників впливають метеорологічні фактори: висока температура повітря, сонячна радіація, вітер, пил, атмосферні опади та підвищена вологість. У літній період можливе перегрівання організму, зневоднення та зниження працездатності. Для зменшення впливу цих факторів необхідно організовувати раціональний режим праці та відпочинку, забезпечувати працівників питною водою, головними уборами й відповідним спецодягом.

Додаткову небезпеку становить рух сільськогосподарської техніки на полях і польових дорогах. Працівники, які обслуговують гідранти, трубопроводи або дощувальні машини, повинні дотримуватися безпечної відстані від рухомих машин, використовувати сигнальний одяг і виконувати роботи лише після узгодження з відповідальними особами.

Під час експлуатації зрошувальної системи можливі також пожежонебезпечні ситуації, пов'язані з несправністю електрообладнання, перегріванням електродвигунів, пошкодженням ізоляції проводів або коротким замиканням. Для запобігання пожежам необхідно підтримувати справний стан електрообладнання, не допускати перевантаження

електромережі, забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння та вільний доступ до них.

Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів показує, що найбільшу увагу під час експлуатації зрошувальної системи необхідно приділяти електробезпеці, роботі з обладнанням під тиском, безпечному обслуговуванню насосної станції, дощувальних машин Zimmatic, гідрантів і трубопровідної мережі. Дотримання вимог охорони праці дозволяє знизити ризик травматизму, забезпечити надійну роботу обладнання та створити безпечні умови праці для персоналу [31, 32, 33].

5.3 Вимоги безпеки під час експлуатації насосного обладнання

Насосне обладнання є одним із найважливіших і водночас найбільш небезпечних елементів зрошувальної системи. У ТОВ «Оріль-Агро» насосна станція забезпечує подачу води з річки Оріль до закритої напірної мережі та створює необхідний тиск для роботи дощувальних машин Zimmatic. За проєктом прийнято насосну станцію у складі 4 насосних агрегатів, з яких 3 робочі та 1 резервний. Загальна робоча подача насосної станції становить 450 л/с, а розрахунковий напір — 70 м.

Під час експлуатації насосного обладнання необхідно суворо дотримуватися вимог безпеки, оскільки робота насосів пов'язана з електричним струмом, рухомими частинами, підвищеним тиском у трубопроводах, шумом, вібрацією та можливістю виникнення аварійних режимів. До обслуговування насосної станції допускаються тільки працівники, які пройшли навчання, інструктаж з охорони праці, перевірку знань і мають допуск до роботи з електрообладнанням [32, 33].

Перед початком роботи оператор насосної станції повинен перевірити справність насосних агрегатів, електродвигунів, пускової апаратури, заземлення, засувки, зворотних клапанів, манометрів і витратомірів. Також

необхідно переконатися у відсутності протікання води у з'єднаннях, наявності води у всмоктувальній лінії, справності захисних кожухів на рухомих частинах, наявності засобів пожежогасіння та аптечки першої допомоги.

Запуск насосного агрегату дозволяється виконувати тільки після перевірки готовності всмоктувальної та напірної ліній, відкриття необхідних засувок, заповнення насоса водою та видалення повітря з системи. Забороняється запускати насос при закритій або несправній всмоктувальній лінії, відсутності води в насосі, пошкодженій електропроводці, несправному заземленні або відсутності захисних кожухів.

Пуск насосного агрегату повинен виконуватися плавно, без різких змін режиму роботи. Різке вмикання або вимикання насосів може спричинити гідравлічний удар у трубопровідній мережі. Для зменшення ризику аварій необхідно застосовувати пристрої плавного пуску, частотне регулювання електродвигунів або поступове відкривання напірної арматури [33].

Під час роботи насосної станції оператор повинен постійно контролювати показники манометрів, витратомірів, стан електродвигунів, рівень шуму, вібрації та температуру нагрівання обладнання. Різке зниження або підвищення тиску, поява стороннього шуму, надмірної вібрації, запаху горілої ізоляції, перегрівання електродвигуна або протікання води є ознаками несправності. У таких випадках насосний агрегат необхідно зупинити та повідомити відповідальну особу.

Під час роботи насосів забороняється знімати захисні кожухи з рухомих частин, торкатися обертових елементів, виконувати ремонт або регулювання обладнання під час роботи, відкривати електрощити без дозволу, працювати з пошкодженою ізоляцією електропроводки, залишати насосну станцію без нагляду в аварійному режимі, допускати сторонніх осіб

до насосного обладнання, а також різко відкривати або закривати засувки на напірній лінії.

Зупинку насосного агрегату необхідно виконувати відповідно до встановленої послідовності. Спочатку поступово зменшують подачу води, потім вимикають електродвигун і після повної зупинки насоса закривають необхідну арматуру. Такий порядок дозволяє уникнути гідравлічного удару, зворотного руху води та пошкодження трубопроводів.

Перед виконанням ремонтних робіт насосний агрегат повинен бути повністю зупинений, відключений від електроживлення, а на пусковому пристрої необхідно вивісити попереджувальний напис про заборону вмикання. Напір у трубопроводі має бути знижений, а ділянка, на якій виконуються роботи, — спорожнена. Ремонтні роботи дозволяється виконувати тільки справним інструментом і за наявності необхідних засобів індивідуального захисту.

Електробезпека під час експлуатації насосного обладнання має особливе значення. Усі електродвигуни, металеві корпуси насосів, пульти керування та електричні шафи повинні бути заземлені. Електрообладнання повинно бути захищене від вологи, пилу та механічних пошкоджень. У приміщенні насосної станції необхідно передбачити діелектричні килимки, ізолюючий інструмент і засоби захисту від ураження електричним струмом [33].

У разі ураження працівника електричним струмом необхідно негайно відключити електроживлення, звільнити потерпілого від дії струму без прямого контакту з ним, викликати медичну допомогу та надати домедичну допомогу. Працівники насосної станції повинні знати порядок дій у таких ситуаціях і регулярно проходити відповідне навчання.

Для запобігання пожежам на насосній станції необхідно підтримувати справний стан електрообладнання, не допускати перевантаження електродвигунів, своєчасно усувати нагрівання контактів, пошкодження

ізоляції та витік мастильних матеріалів. У приміщенні насосної станції повинні бути первинні засоби пожежогасіння, а проходи до них мають бути вільними.

Рівень шуму та вібрації насосних агрегатів необхідно контролювати під час експлуатації. Підвищена вібрація може свідчити про порушення центрування вала, зношення підшипників, пошкодження робочого колеса або неправильну роботу насоса. У такому разі агрегат необхідно зупинити та провести технічний огляд.

Отже, безпечна експлуатація насосного обладнання в ТОВ «Оріль-Агро» передбачає суворе дотримання правил запуску, роботи, зупинки та ремонту насосних агрегатів. Основну увагу необхідно приділяти електробезпеці, контролю тиску, запобіганню гідравлічним ударами, справності захисних пристроїв і своєчасному технічному обслуговуванню. Виконання цих вимог забезпечує надійну роботу насосної станції, безпеку персоналу та стабільну подачу води до дощувальних машин Zimmatic [31, 32, 33].

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено проєкт зрошення сільськогосподарських угідь дощувальними машинами Zimmatic у товаристві з обмеженою відповідальністю «Оріль-Агро» Самарівського району Дніпропетровської області. Запропоновані проєктні рішення спрямовані на покращення водного режиму ґрунтів, підвищення стабільності врожайності сільськогосподарських культур і раціональне використання водних ресурсів у зоні недостатнього природного зволоження.

У першому розділі проаналізовано природні умови району проєктування. Встановлено, що територія ТОВ «Оріль-Агро» розташована в степовій зоні Дніпропетровської області, для якої характерні недостатня кількість атмосферних опадів, високі літні температури, значне випаровування, часті посухи та суховії. Такі природно-кліматичні умови обмежують формування стабільної врожайності культур без додаткового зволоження. Геоморфологічні, геологічні та ґрунтові умови території загалом є сприятливими для впровадження зрошення дощувальними машинами, оскільки переважають рівнинні та слабохвилясті ділянки, придатні для роботи широкозахватної поливної техніки.

У роботі визначено, що основним джерелом зрошення доцільно прийняти річку Оріль. Її води можуть використовуватися для поливу сільськогосподарських культур за умови дотримання вимог раціонального водокористування, контролю якості зрошувальної води та застосування фільтрувальних і захисних пристроїв на водозабірному вузлі. Використання води з річки Оріль дозволяє забезпечити потреби господарства у поливній воді впродовж вегетаційного періоду.

У другому розділі наведено характеристику сільськогосподарського виробництва ТОВ «Оріль-Агро». Встановлено, що господарство

спеціалізується на вирощуванні зернових, технічних, зернобобових і кормових культур. Для проєктованої зрошуваної сівозміни прийнято площу 504 га, яка складається із семи полів по 72 га. До складу сівозміни включено пшеницю озиму, кукурудзу на зерно, сою, соняшник, ячмінь ярий і люцерну. Така структура культур відповідає умовам степової зони та забезпечує ефективне використання зрошуваних земель.

У результаті аналізу кліматичних показників обґрунтовано необхідність зрошення. За вегетаційний період сума випаровування становить близько 754 мм, тоді як кількість атмосферних опадів — лише 277 мм. Коефіцієнт посушливості за теплий період становить 2,72, що свідчить про значний дефіцит природного зволоження. Це підтверджує доцільність впровадження зрошувальної системи для стабілізації водного режиму ґрунтів і забезпечення нормального розвитку культур.

У третьому розділі виконано розрахунок режиму зрошення та техніки поливу сільськогосподарських культур. Визначено, що середньозважена зрошувальна норма нетто становить 2670 м³/га, а з урахуванням коефіцієнта корисного використання води середньозважена зрошувальна норма брутто становить близько 3140 м³/га. Загальна сезонна потреба у воді для всієї зрошуваної площі становить приблизно 1,58 млн м³.

Для поливу сільськогосподарських культур обґрунтовано застосування способу дощування з використанням дощувальних машин Zimmatic кругової дії. Такий спосіб є доцільним для умов господарства, оскільки забезпечує рівномірне зволоження ґрунту, можливість регулювання поливних норм, механізацію та автоматизацію процесу поливу, а також придатний для вирощування всіх культур прийнятої сівозміни.

За результатами розрахунків прийнято 9 дощувальних машин Zimmatic. Одна машина забезпечує полив площі близько 55–60 га. Добова продуктивність однієї машини при витраті 50 л/с, тривалості роботи 20

год/добу, коефіцієнті використання робочого часу 0,85 і поливній нормі 500 м³/га становить 6,12 га/добу. Загальна добова продуктивність дев'яти машин становить 55,1 га/добу, що дає змогу виконати повний полив зрошуваного масиву приблизно за 9–10 діб.

У четвертому розділі виконано проєктування та розрахунок закритої зрошувальної мережі. Для ТОВ «Оріль-Агро» прийнято закриту напірну тупикову схему мережі, яка забезпечує подачу води від насосної станції до дощувальних машин Zimmatic. Така схема є технічно обґрунтованою, оскільки забезпечує менші втрати води під час транспортування, зручність експлуатації та можливість підтримання необхідного тиску в системі.

Конструкція закритої зрошувальної мережі передбачає один розподільний трубопровід 1-Кр довжиною 3920 м і шість польових трубопроводів загальною довжиною 4895 м. Загальна довжина трубопровідної мережі становить 8815 м. Для підключення дощувальних машин передбачено 9 гідрантів-водовипусків, які забезпечують подачу води до центральних опор машин Zimmatic.

Гідравлічним розрахунком визначено, що загальна розрахункова витрата води при одночасній роботі дев'яти дощувальних машин становить 450 л/с, або 0,450 м³/с. Для головних ділянок розподільного трубопроводу прийнято діаметри 630–250 мм, для польових трубопроводів — 315 і 250 мм. Швидкість руху води в трубопроводах перебуває в допустимих межах і становить приблизно 1,02–1,44 м/с. Повні втрати напору в найбільш несприятливому напрямку мережі становлять близько 20,1 м.

Для забезпечення роботи зрошувальної системи підібрано насосне обладнання. Прийнято насосну станцію у складі 4 насосних агрегатів, з яких 3 робочі та 1 резервний. подача одного насосного агрегату становить 150 л/с, або 540 м³/год, при розрахунковому напорі 70 м. Потужність електродвигуна одного агрегату прийнято 160 кВт. Прийнята схема

насосної станції забезпечує сумарну подачу 450 л/с, що відповідає потребам одночасної роботи всіх дощувальних машин.

На зрошувальній мережі передбачено комплекс гідротехнічних споруд, до складу яких входять водозабірні споруди, насосна станція, розподільні й оглядові колодязі, гідранти-водовипуски, запірні-регулююча арматура, вантузи, скидні пристрої та контрольно-вимірювальні прилади. Прийняті споруди забезпечують надійну подачу води, регулювання роботи мережі, можливість її спорожнення, захист від повітряних пробок і безпечну експлуатацію системи.

У п'ятому розділі розроблено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях під час експлуатації зрошувальної системи. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких ураження електричним струмом, рухомі частини насосного обладнання і дощувальних машин, підвищений тиск у трубопроводах, можливість гідравлічного удару, шум, вібрація, робота біля водозабору та вплив метеорологічних факторів. Запропоновані заходи спрямовані на забезпечення безпечної роботи персоналу, справності обладнання, дотримання правил експлуатації насосної станції та дощувальних машин Zimmatic.

Отже, у кваліфікаційній роботі обґрунтовано доцільність впровадження зрошення дощувальними машинами Zimmatic у ТОВ «Оріль-Агро». Запроєктована система дозволяє забезпечити своєчасне й рівномірне зволоження сільськогосподарських культур на площі 504 га, раціонально використовувати водні ресурси річки Оріль, зменшити вплив посушливих умов на врожайність і підвищити ефективність аграрного виробництва. Прийняті проєктні рішення є технічно обґрунтованими та можуть бути використані для практичного впровадження сучасної зрошувальної системи в умовах господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Водний кодекс України. Київ: Верховна Рада України, 1995.
2. Земельний кодекс України. Київ: Верховна Рада України, 2001.
3. Закон України «Про меліорацію земель». Київ: Верховна Рада України, 2000.
4. Закон України «Про охорону праці». Київ: Верховна Рада України, 1992.
5. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Київ: Верховна Рада України, 1991.
6. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». Київ: Верховна Рада України, 2017.
7. ДБН В.2.4-1-99. Меліоративні системи та споруди. Київ: Держбуд України, 2000.
8. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. Київ: Мінрегіон України, 2013.
9. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Київ: Мінрегіонбуд України, 2012.
10. ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
11. ДСТУ 7591:2014. Зрошення. Терміни та визначення понять. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015.
12. ДСТУ Б В.2.5-30:2006. Трубопроводи зовнішніх мереж водопостачання і каналізації. Київ: Мінбуд України, 2006.
13. ДСТУ ISO 5667-1:2003. Якість води. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо розроблення програм відбирання проб. Київ: Держспоживстандарт України, 2004.
14. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. Київ: Міністерство соціальної політики України, 2018.

- 15.Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Держнаглядохоронпраці України, 1998.
- 16.Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Міністерство палива та енергетики України, 2006.
- 17.Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні. Київ: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2021.
- 18.Агрокліматичний довідник по Дніпропетровській області. Ленінград: Гідрометеоіздат, 1958.
- 19.Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченка. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
- 20.Атлас ґрунтів Української РСР / за ред. М. К. Крупського, М. І. Полупана. Київ: Урожай, 1979. 160 с.
- 21.Ґрунти Дніпропетровської області / за ред. М. І. Полупана. Київ: Урожай, 1969. 96 с.
- 22.Полупан М. І., Соловей В. Б., Величко В. А. Класифікація ґрунтів України. Київ: Аграрна наука, 2005. 300 с.
- 23.Медведєв В. В. Моніторинг ґрунтів України. Харків: Антіква, 2002. 428 с.
- 24.Костяков О. М. Основи меліорації. Київ: Держсільгоспвидав, 1960. 622 с.
- 25.Ромащенко М. І., Балюк С. А. Зрошення земель в Україні: стан та шляхи поліпшення. Київ: Світ, 2000. 114 с.
- 26.Ромащенко М. І., Шатковський А. П., Журавльов О. В. Наукові засади розвитку зрошення земель в Україні. Київ: Аграрна наука, 2017. 250 с.
- 27.Ромащенко М. І., Шатковський А. П. Сучасні технології зрошення сільськогосподарських культур. Київ: Аграрна наука, 2012. 190 с.

- 28.Балюк С. А., Ромащенко М. І., Трускавецький Р. С. Меліорація ґрунтів: систематика, перспективи, інновації. Херсон: Грінь Д. С., 2015. 668 с.
- 29.Айдаров І. П. Регулювання водно-сольового та поживного режимів зрошуваних земель. Москва: Агропромиздат, 1985. 304 с.
- 30.Коваленко П. І., Рокочинський А. М. Меліоративні системи та споруди. Київ: Вища школа, 2002. 320 с.
- 31.Гончаров С. М., Гуменюк В. Я. Сільськогосподарські меліорації. Київ: Вища школа, 1991. 336 с.
- 32.Меліорація та облаштування Українського Полісся / за ред. Я. М. Гадзала, В. А. Сташука, А. М. Рокочинського. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. 932 с.
- 33.Проектування зрошувальних систем: навчальний посібник / за ред. М. І. Ромащенка. Київ: Аграрна освіта, 2010. 276 с.
- 34.Сільськогосподарські гідротехнічні меліорації / за ред. І. І. Базилевича. Київ: Вища школа, 1981. 320 с.
- 35.Гідравліка, гідро- та пневмоприводи / за ред. О. Ф. Дащенко. Одеса: Астропринт, 2004. 288 с.
- 36.Шевченко А. М. Гідравліка і гідравлічні машини. Київ: Вища школа, 1994. 280 с.
- 37.Лукінюк М. В. Гідравліка: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 260 с.
- 38.Дідур В. А., Науменко І. І. Насоси і насосні станції. Київ: Урожай, 1995. 208 с.
- 39.Насоси та насосні станції: навчальний посібник / за ред. В. С. Кравчука. Рівне: НУВГП, 2010. 256 с.
- 40.Яковлев С. В., Карелін В. Я. Водопостачання і водовідведення. Москва: Стройиздат, 1980. 320 с.

- 41.Довідник з охорони праці в сільському господарстві / за ред. С. Г. Годяєва. Київ: Урожай, 2004. 352 с.
- 42.Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 2005. 320 с.
- 43.Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В. Основи охорони праці. Київ: Основа, 2006. 448 с.
- 44.Основи охорони праці: підручник / за ред. К. Н. Ткачука, М. О. Халімовського. Київ: Основа, 2011. 474 с.
- 45.Lindsay Corporation. Zimmatic Center Pivot Irrigation Systems. Technical documentation. Omaha: Lindsay Corporation, 2024.
- 46.Lindsay Corporation. Zimmatic Pivot and Lateral Irrigation Systems. Product Guide. Omaha: Lindsay Corporation, 2024.
- 47.Lindsay Corporation. FieldNET Irrigation Management. Technical Guide. Omaha: Lindsay Corporation, 2024.
- 48.Lindsay Corporation. Zimmatic 9500 Series Center Pivot. Product specifications. Omaha: Lindsay Corporation, 2024.
- 49.Lindsay Corporation. Zimmatic 7500 Series Center Pivot. Product specifications. Omaha: Lindsay Corporation, 2024.
- 50.FAO. Irrigation Water Management: Irrigation Methods. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1989.
- 51.FAO. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998.
- 52.FAO. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rome: FAO, 1985.
- 53.Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p.
- 54.Keller J., Bliesner R. D. Sprinkle and Trickle Irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

55. James L. G. Principles of Farm Irrigation System Design. New York: John Wiley & Sons, 1988. 543 p.

ДОДАТКИ

Методика розрахунку величини випаровуваності

Суму атмосферних опадів за вегетаційний період P визначають за їх місячними значеннями. Для визначення величини випаровуваності E_M за місячні періоди можна скористатися формулою М. М. Іванова [24]:

$$E_M = 0,18 \cdot (t_M + 25)^2 \cdot \left(1 - \frac{a_M}{100}\right), \quad (2.1)$$

де

E_M — випаровуваність за місяць, мм;

t_M — середня температура повітря за місяць, °С;

a_M — середня за місяць відносна вологість повітря, %.

За обчисленими значеннями випаровуваності визначають індекс посушливості:

$$K_C = \frac{\sum E_M}{\sum P}, \quad (2.2)$$

де

K_C — індекс посушливості;

$\sum E_M$ — сумарна випаровуваність за вегетаційний період, мм;

$\sum P$ — сума атмосферних опадів за той самий період, мм.

Розрахунок величини K_C зручніше виконувати у табличній формі. У таблиці 2.3 наведено розрахунок індексу посушливості за вегетаційний період для району проектування.

Методика вибіру розрахункового року заданої забезпеченості

Для кожного року багаторічного періоду визначають сумарний дефіцит водоспоживання за вегетаційний період. Після цього роки розташовують у порядку зменшення або збільшення дефіциту води та визначають забезпеченість кожного року за формулою:

$$P = \frac{m}{n + 1} \cdot 100, \quad (3.1)$$

де

P — забезпеченість року, %;

m — порядковий номер року в ранжованому ряду;

n — кількість років спостережень.

Для розрахунку водоспоживання сільськогосподарських культур доцільно використовувати біокліматичний метод, за яким сумарне водоспоживання визначають залежно від випаровуваності та біологічного коефіцієнта культури. У загальному вигляді розрахунок виконують за формулою:

$$E_v = K_b \cdot E_M, \quad (3.6)$$

де

E_v — водоспоживання культури за розрахунковий період, мм;

K_b — біологічний коефіцієнт культури;

E_M — випаровуваність за відповідний період, мм.

Для визначення сумарного водоспоживання культури за весь вегетаційний період використовують формулу:

$$\sum E_v = \sum (K_b \cdot E_M), \quad (3.7)$$

де

$\sum E_v$ — сумарне водоспоживання культури за вегетаційний період, мм;

K_b — біологічний коефіцієнт культури за окремими періодами розвитку;

E_M — випаровуваність за відповідний розрахунковий період, мм.

Дефіцит водоспоживання визначають як різницю між сумарним водоспоживанням культури та кількістю вологи, яка надходить за рахунок атмосферних опадів і початкових запасів продуктивної вологи в ґрунті. У

спрощеному вигляді дефіцит водоспоживання можна визначити за формулою:

$$D = \sum E_v - \mu \cdot \sum P - \Delta W, \quad (3.8)$$

де

D — дефіцит водоспоживання культури, мм;

$\sum E_v$ — сумарне водоспоживання культури за вегетаційний період, мм;

μ — коефіцієнт використання атмосферних опадів;

$\sum P$ — сума атмосферних опадів за вегетаційний період, мм;

ΔW — використані запаси продуктивної вологи з активного шару ґрунту, мм.

Для визначення середньозваженого дефіциту водоспоживання сівозміни враховують площу кожного поля. Середньозважений дефіцит визначають за формулою:

$$D_{\text{сер}} = \frac{D_1 \cdot F_1 + D_2 \cdot F_2 + \dots + D_n \cdot F_n}{F_{\Sigma}}, \quad (3.18)$$

де

$D_{\text{сер}}$ — середньозважений дефіцит водоспоживання сівозміни, мм;

$D_1, D_2, \dots, D_n$ — дефіцити водоспоживання окремих культур, мм;

$F_1, F_2, \dots, F_n$ — площі полів відповідних культур, га;

F_{Σ} — загальна площа зрошуваної сівозміни, га.

Методика розрахунку зрошувальних і поливних норм

Зрошувальну норму нетто визначають за формулою:

$$M_{\text{нт}} = D, \quad (3.24)$$

де

$M_{\text{нт}}$ — зрошувальна норма нетто, мм;

D — дефіцит водоспоживання культури, мм.

У перерахунку на об'єм води зрошувальну норму нетто визначають за формулою:

$$M_{\text{нт.м}^3/\text{га}} = 10 \cdot M_{\text{нт}}, \quad (3.25)$$

де

$M_{\text{нт.м}^3/\text{га}}$ — зрошувальна норма нетто, м³/га;

$M_{\text{нт}}$ — зрошувальна норма нетто, мм.

Під час транспортування і подачі води до дощувальних машин частина води втрачається. Тому для проєктування необхідно визначити зрошувальну норму брутто, тобто таку кількість води, яку потрібно забрати з джерела зрошення з урахуванням коефіцієнта корисного використання води. Для дощування приймаємо коефіцієнт використання води:

$$\eta = 0,85. \quad (3.26)$$

Тоді зрошувальну норму брутто визначають за формулою:

$$M_{\text{бр}} = \frac{M_{\text{нт}}}{\eta}, \quad (3.27)$$

де

$M_{\text{бр}}$ — зрошувальна норма брутто, мм;

$M_{\text{нт}}$ — зрошувальна норма нетто, мм;

η — коефіцієнт використання води при дощуванні.

У перерахунку на м³/га:

$$M_{\text{бр.м}^3/\text{га}} = 10 \cdot M_{\text{бр}}. \quad (3.28)$$

Поливна норма залежить від водно-фізичних властивостей ґрунту, глибини активного шару, культури, фази розвитку рослин і допустимого

зниження вологості ґрунту. Для умов проектування приймаємо поливні норми нетто в межах **350–450 м³/га**, що відповідає умовам дощування польових культур на чорноземних ґрунтах [7, 24].

Кількість поливів визначають за формулою:

$$n = \frac{M_{\text{нт.м}^3/\text{га}}}{m_{\text{нт}}}, \quad (3.29)$$

де

n — кількість поливів за вегетаційний період;

$M_{\text{нт.м}^3/\text{га}}$ — зрошувальна норма нетто, м³/га;

$m_{\text{нт}}$ — поливна норма нетто, м³/га.

Поливну норму бруто визначають за формулою:

$$m_{\text{бр}} = \frac{m_{\text{нт}}}{\eta}, \quad (3.30)$$

де

$m_{\text{бр}}$ — поливна норма бруто, м³/га;

$m_{\text{нт}}$ — поливна норма нетто, м³/га;

η — коефіцієнт використання води при дощуванні.

Середньозважену зрошувальну норму нетто сівозміни визначають за формулою:

$$M_{\text{сер}} = \frac{M_1 \cdot F_1 + M_2 \cdot F_2 + \dots + M_n \cdot F_n}{F_{\Sigma}}, \quad (3.38)$$

де

$M_{\text{сер}}$ — середньозважена зрошувальна норма нетто, м³/га;

$M_1, M_2, \dots, M_n$ — зрошувальні норми окремих культур, м³/га;

$F_1, F_2, \dots, F_n$ — площі культур, га;

F_{Σ} — загальна площа зрошуваної сівозміни, га.

Методика визначення строків і кількості поливів

Якщо отримане значення не є цілим числом, його округлюють до більшого цілого значення, оскільки дефіцит вологи має бути повністю компенсований поливами. При цьому фактична поливна норма може незначно коригуватися залежно від кількості прийнятих поливів, вологосмності ґрунту та фаз розвитку культур [7, 24].

Фактичну поливну норму після уточнення кількості поливів можна визначити за формулою:

$$m_{\phi} = \frac{M_{\text{нт}}}{n}, \quad (3.46)$$

де

m_{ϕ} — фактична поливна норма нетто, м³/га;

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

n — прийнята кількість поливів.

Полівна норма брутто з урахуванням коефіцієнта використання води при дощуванні визначається за формулою:

$$m_{\text{бр}} = \frac{m_{\phi}}{\eta}, \quad (3.47)$$

де

$m_{\text{бр}}$ — поливна норма брутто, м³/га;

m_{ϕ} — фактична поливна норма нетто, м³/га;

η — коефіцієнт використання води при дощуванні.

міжполивний період. Орієнтовно його можна визначити за формулою:

$$T = \frac{m_{\phi}}{e}, \quad (3.53)$$

де

T — міжполивний період, діб;

$m_{\text{ф}}$ — фактична поливна норма нетто, мм;

e — середньодобове водоспоживання культури в розрахунковий період, мм/добу.

Добова продуктивність дощувальної машини визначається за формулою:

$$W_{\text{д}} = \frac{Q \cdot t \cdot 3600 \cdot K_{\text{в}}}{m}, \quad (3.69)$$

де

$W_{\text{д}}$ — добова продуктивність дощувальної машини, га/добу;

Q — витрата води однієї машини, м³/с;

t — тривалість роботи машини протягом доби, год;

$K_{\text{в}}$ — коефіцієнт використання робочого часу;

m — поливна норма брутто, м³/га;

3600— коефіцієнт переведення годин у секунди.

Тривалість поливу площі, що обслуговується однією дощувальною машиною, визначається за формулою:

$$T_1 = \frac{F_1}{W_{\text{д}}}, \quad (3.75)$$

де

T_1 — тривалість поливу площі однією машиною, діб;

F_1 — площа, що поливається однією машиною, га;

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

Змінна продуктивність дощувальної машини визначається за формулою:

$$W_{\text{зм}} = \frac{Q \cdot t_{\text{зм}} \cdot 3600 \cdot K_{\text{в}}}{m}, \quad (3.78)$$

де

$W_{зм}$ — змінна продуктивність машини, га/зміну;

$t_{зм}$ — тривалість зміни, год.

Тривалість поливу всієї зрошуваної площі визначається за формулою:

$$T_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{W_{\Sigma}}, \quad (3.84)$$

де

T_{Σ} — тривалість поливу всієї зрошуваної площі, діб;

F_{Σ} — загальна площа зрошення, га;

W_{Σ} — загальна добова продуктивність машин, га/добу.

Сезонна продуктивність однієї дощувальної машини визначається за формулою:

$$W_{сез} = W_{д} \cdot T_{сез}, \quad (3.88)$$

де

$W_{сез}$ — сезонна продуктивність однієї машини, га;

$W_{д}$ — добова продуктивність машини, га/добу;

$T_{сез}$ — кількість робочих діб за поливний сезон.

Кількість можливих поливів однією машиною за сезон визначається за формулою:

$$n_{сез} = \frac{W_{сез}}{F_1}, \quad (3.91)$$

де

$n_{сез}$ — кількість можливих поливів за сезон;

$W_{сез}$ — сезонна продуктивність однієї машини, га;

F_1 — площа, що поливається однією машиною, га.

Для визначення загальної витрати води всіма дощувальними машинами використовують формулу:

$$Q_{\Sigma} = Q \cdot N, \quad (3.93)$$

де

Q_{Σ} — загальна витрата води всіма машинами, м³/с;

Q — витрата води однієї машини, м³/с;

N — кількість машин, шт.

Методика гідравлічного розрахунку

Загальна довжина закритої зрошувальної мережі становить:

$$L_{\Sigma} = L_{1-кр} + L_{п}, \quad (4.6)$$

де

L_{Σ} — загальна довжина закритої зрошувальної мережі, м;

$L_{1-кр}$ — довжина розподільного трубопроводу, м;

$L_{п}$ — сумарна довжина польових трубопроводів, м.

$$L_{\Sigma} = 3920 + 4895 = 8815 \text{ м.} \quad (4.7)$$

При одночасній роботі всіх машин загальна витрата води становить:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 \cdot N, \quad (4.9)$$

де

Q_{Σ} — загальна витрата води, м³/с;

Q_1 — витрата однієї дощувальної машини, м³/с;

N — кількість одночасно працюючих машин, шт.

Крім втрат напору по довжині, у закритій мережі виникають місцеві втрати напору на фасонних частинах, засувках, гідрантах, поворотах, трійниках, переходах і вузлах підключення машин. Місцеві втрати визначаємо орієнтовно у відсотках від втрат по довжині:

$$h_m = 0,10 \cdot h_l, \quad (4.30)$$

де

h_m — місцеві втрати напору, м;

h_l — втрати напору по довжині, м.

Повні втрати напору в закритій зрошувальній мережі визначаємо за формулою:

$$h_\Sigma = h_l + h_m, \quad (4.34)$$

де

h_Σ — повні втрати напору в мережі, м;

h_l — втрати напору по довжині, м;

h_m — місцеві втрати напору, м.

Для визначення необхідного напору на початку мережі враховують втрати напору в трубопроводах, геодезичну різницю відміток і необхідний робочий напір на вході в дощувальну машину **Zimmatic**. Необхідний напір визначається за формулою:

$$H_{\text{потр}} = H_m + h_\Sigma + \Delta z, \quad (4.36)$$

де

$H_{\text{потр}}$ — необхідний напір на початку мережі, м;

H_m — необхідний робочий напір на вході в дощувальну машину, м;

h_Σ — повні втрати напору в мережі, м;

Δz — різниця геодезичних відміток між насосною станцією і найвіддаленішою машиною, м.

Швидкість руху води в трубопроводі визначається за формулою:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad (4.16)$$

де

v — швидкість руху води, м/с;

Q — витрата води на розрахунковій ділянці, м³/с;

d — внутрішній діаметр трубопроводу, м;

π — стала величина, $\pi = 3,14$.

Втрати напору по довжині трубопроводу визначаємо за формулою Дарсі — Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (4.17)$$

де

h_l — втрати напору по довжині трубопроводу, м;

λ — коефіцієнт гідравлічного тертя;

L — довжина розрахункової ділянки трубопроводу, м;

d — внутрішній діаметр трубопроводу, м;

v — швидкість руху води, м/с;

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

Для поліетиленових напірних труб попередньо приймаємо:

$$\lambda = 0,020. \quad (4.18)$$