

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра водогосподарської інженерії

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри водогосподарської
інженерії, доцент

_____ Андрій ТКАЧУК
« _____ » червня 2026 р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
на тему:

**«Удосконалення технічних засобів зрошення шляхом
комбінування систем краплинного поливу та дощування
в умовах фермерського господарства «Велес»
Василівського району Запорізької області»**

Виконав: здобувач вищої освіти, гр. ГТБ-1-22
Спеціальність – 194 «Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні
технології»

Освітньо-професійна програма «Водна
інженерія та водні технології»

Резніченко Ю. М.

(прізвище та ініціали, підпис)

Керівник : доц. Рудаков Л.М.

(прізвище та ініціали, підпис)

Дніпро – 2026

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»
Освітньо-професійна програма «Водна інженерія та водні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою водогосподарської інженерії
доц. _____ (Андрій ТКАЧУК)
« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу здобувачу вищої освіти
Резніченку Юрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: «Удосконалення технічних засобів зрошення
шляхом комбінування систем краплинного поливу та
дощування в умовах фермерського господарства «Велес»
Василівського району Запорізької області»

керівник роботи Рудаков Леонід Миколайович, к. с.-г. н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по ДДАЕУ від « _____ » _____ 2026 р. № _____

1. Термін здачі закінченої роботи : « 15 » червня 2026 р.
2. Вихідні дані до роботи: Генеральний план ФГ «Велес» Василівського району Запорізької області. Топографічна основа масиву, що проектується під реконструкцію технології зрошення. Статистичні дані про виробничу діяльність господарства. Природно-кліматичні, геологічні та ґрунтові умови району проектування.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити) Вступ; 1. Природні умови району дослідження; 2. Технічна характеристика та режим експлуатації існуючої зрошувальної мережі; 3. Обґрунтування режиму зрошення сільськогосподарських культур; 4. Обґрунтування технічних рішень щодо переобладнання системи; 5. Оцінка впливу переоснащеної системи зрошення на компоненти навколишнього середовища; 6. Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях; 7. Розрахунок економічної ефективності заходів з удосконалення техніки поливу сільськогосподарських культур; Висновки.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Презентація в середовищі Power Point: постановча частина дипломної роботи; природно кліматичні умови, результати досліджень, креслення, висновки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	1. Природні умови району дослідження	04.2026 р.	
2	2. Технічна характеристика та режим експлуатації існуючої зрошувальної мережі	05.2026 р.	
3	3. Обґрунтування режиму зрошення сільськогосподарських культур	05.2026 р.	
4	4. Обґрунтування технічних рішень щодо переобладнання системи	05.2026 р.	
5	5. Оцінка впливу переоснащеної системи зрошення на компоненти навколишнього середовища	06.2026 р.	
6	6. Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях	06.2026 р.	
7	7. Розрахунок економічної ефективності заходів з удосконалення техніки поливу сільськогосподарських культур	06.2026 р.	
8	Поточний контроль виконання ДП за планом	06.2026 р.	
6	Передзахист ДП на кафедрі	06.2026 р.	
7	Представлення ДП на рецензію	06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Керівник роботи _____ / Рудаков Л.М. /

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ПРИРОДНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1. Геоморфологічні особливості будови місцевості та ґрунтовий покрив території	10
1.2. Геологічні та гідрогеологічні умови досліджуваної території .	12
1.3. Кліматичні умови району проєктування	14
1.4. Характеристика джерела зрошення сільськогосподарських культур	16
2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА РЕЖИМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІСНУЮЧОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ	19
2.1. Характеристика каналу і трубопровідної мережі	19
2.2. Характеристика насосної станції	23
2.3. Режим експлуатації та характеристика дощувальної техніки ...	25
3. ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМУ ЗРОШЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	29
3.1. Розрахунок режиму зрошення кормо-овочевої сівозміни.....	29
3.2. Розробка технологічних карти вирощування сільськогосподарських культур	39
3.3. Проектування зрошувальної мережі на ділянці дослідження .	47
3.4. Гідравлічний розрахунок параметрів роботи закритої зрошувальної мережі	48
4. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПЕРЕОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ	50
4.1. Підключення стрічки для краплинного поливу до дощувальної машини	50
4.2. Обґрунтування конструкції очисних комплексів та обладнання для подачі добрив (фертигація)	54

4.3. Гідравлічний розрахунок і технічна характеристика переобладнаної системи під краплинне зрошення	58
5. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПЕРЕОСНАЩЕНОЇ СИСТЕМИ ЗРОШЕННЯ НА КОМПОНЕНТИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	64
5.1. Вплив на клімат і мікроклімат території в зоні розташування зрошувального масиву	64
5.2. Вплив на ґрунтовий покрив	65
5.3. Оцінка впливу масиву зрошення на поверхневі та підземні водні ресурси	66
6. ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .	68
6.1. Основні положення та принцип роботи органів державного управління і нагляду з питань охорони праці	68
6.2. Робота системи управління охороною праці на підприємстві .	69
6.3. Обґрунтування параметрів захисного заземлення і занулення на об'єкті дослідження	72
7. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІКИ ПОЛИВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	74
7.1. Визначення та порівняння щорічних затрат при удосконаленні техніки поливу на масиві зрошення	74
7.2 Розрахунок економічної ефективності удосконалення техніки поливу на масиві зрошення	76
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79

ВСТУП

Зрошуване землеробство є фундаментом аграрного сектору південних регіонів України, зокрема Запорізької області. Проте останні роки стали періодом безпрецедентних викликів для меліоративного комплексу країни. Руйнування Каховської гідроелектростанції та подальше зникнення Каховського водосховища – основного джерела водоподачі для великих масивів зрошення – докорінно змінили умови господарювання. Традиційні методи поливу, що базувалися на водоемному дощуванні, опинилися під загрозою через обмеженість водних ресурсів та критичне зниження рівнів у зрошувальних каналах. У цих умовах перед аграрними підприємствами, зокрема ФГ «Велес», постало стратегічне завдання: адаптація до нових гідрологічних реалій шляхом переходу від енерго- та водовитратних методів до високоточних, ресурсоощадних технологій зрошення.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні та розробці проекту модернізації технічних засобів зрошення у фермерському господарстві «Велес» шляхом комбінування існуючих дощувальних систем із системами краплинного поливу, що дозволить забезпечити стабільний розвиток овочівництва в умовах дефіциту водних ресурсів.

Завдання дослідження:

- 1) проаналізувати сучасний стан зрошувальної мережі та оцінити вплив гідрологічних змін на ефективність експлуатації існуючих дощувальних машин ДМУ «Фрегат»;
- 2) розробити технологічну схему переобладнання дощувальної техніки під краплинне зрошення для вирощування овочевих культур;
- 3) провести гідравлічні розрахунки роботи системи в умовах обмеженого водоспоживання;

- 4) розробити режим зрошення та технологію фертигації, що забезпечують мінімальні втрати води та добрив;
- 5) провести оцінку впливу на довкілля (ОВНС) та розробити заходи з охорони праці для нових умов експлуатації;
- 6) визначити економічну ефективність модернізації, враховуючи капітальні вкладення, експлуатаційні витрати та строк окупності проєкту.

Об'єкт дослідження: процес зрошення сільськогосподарських культур в умовах дефіциту водних ресурсів.

Предмет дослідження: технічні та технологічні рішення щодо модернізації систем зрошення у ФГ «Велес» Василівського району Запорізької області.

Ключові слова: зрошувальна система, краплинне зрошення, дощувальна техніка, модернізація, ресурсощадні технології, водоспоживання, економічна ефективність, фертигація, зрошуване землеробство.

1. ПРИРОДНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Територіально Запорізька область розташована в межах посушливої степової фізико-географічної зони. У басейні річки Дніпро цей природний масив охоплює південно-східні відроги Придніпровської височини, а також простягається на центральну частину Причорноморської низовини.

Домінуючою ландшафтною рисою цієї місцевості є майже повна відсутність природних лісових масивів. Деревна рослинність тут має здебільшого штучне походження і представлена переважно присадибними садами та захисними лісосмугами. Натомість природний фітоценоз сформований переважно трав'янистою рослинністю, яка має виражений ксерофітний характер та добре адаптована до умов степового зволоження.

Геоморфологічно досліджувана територія являє собою плоску, слаборозчленовану та візуально одноманітну степову рівнину, що географічно відноситься до північної та східної частини межиріччя річок Дніпро та Молочна. Детальне місце розташування ділянки проектування та її просторова прив'язка наведені на рисунку 1.

Сучасні геоекологічні реалії регіону зазнали катастрофічних змін внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС, що призвело до фактичної ліквідації Каховського водосховища як ключового джерела водних ресурсів для регіону. Ця подія повністю унеможливила подальше функціонування традиційних систем залізобетонних каналів та широкозахватних дощувальних машин, робота яких критично залежала від стабільного поверхневого водозабору високої продуктивності.

У сформованих умовах гострого дефіциту поверхневого стоку принципово новим вектором модернізації інфраструктури є диверсифікація джерел водопостачання. Альтернативним інженерним рішенням виступає

переорієнтація системи на використання підземних вод для акумуляції необхідних об'ємів у наявному регулюючому басейні масиву зрошення. У поєднанні з обов'язковим переведенням внутрішньогосподарської мережі на локально-ощадні технології краплинного поливу, використання підземних водоносних горизонтів дозволяє повністю компенсувати нестачу поверхневої води, забезпечити жорсткий екологічний контроль за водними ресурсами та нівелювати ризики дефіциту вологи для сільськогосподарських культур.



Рисунок 1 – Оглядова карта розташування ділянки зрошення.

1.1. Геоморфологічні особливості будови місцевості та ґрунтовий покрив території

Василівський район розташований у степовій зоні в межах східної частини Причорноморської низовини. Геоморфологічно територія являє собою плоску степову рівнину з абсолютними відмітками висот від 90–100 м на півночі до 70–80 м на півдні (середня висота становить 86 м над рівнем моря). Місцями рівнинний характер рельєфу порушується неглибокими балками.

Природні лісові масиви на цій території відсутні. Деревна рослинність має переважно штучне походження і представлена присадибними садами та полезахисними лісосмугами. Більша частина земельного фонду – це орні землі, які майже повністю розорані та залучені до інтенсивного вирощування сільськогосподарських культур. Глибина залягання ґрунтових вод коливається в межах 8–15 м.

Ґрунтоутворюючими породами виступають леси та лесовидні суглинки. Загалом у Запорізькій області домінують чорноземи звичайні, проте безпосередньо в районі дослідження значно поширені також чорноземи південні середньосуглинкові.

Чорнозем звичайний має класичну та найбільш репрезентативну для цього типу ґрунтів будову профілю. Його характерною особливістю є дещо уповільнений процес гумусонакопичення та більш жорсткий водний режим порівняно з іншими підтипами. Зона скипання карбонатів залягає високо (у нижній частині гумусового горизонту), де вони представлені у вигляді прожилок і плям. На глибині близько 3 м, за карбонатним горизонтом, трапляються виділення гіпсу. Фізико-механічні та водно-фізичні показники досліджуваних ґрунтів наведені в таблицях 1.1.–1.3.

Таблиця 1.1 – Фізичні та водно-фізичні властивості чорноземів звичайних

Глибина відбору зразків	0 – 10	30 – 40	50 – 60	80 – 90	100 – 110	130 – 140
Щільність, г/см ³	1.23	1.14	1.13	1.12	1.17	1.20
Питома маса, г/см ³	2.55	2.62	2.62	2.62	2.63	2.65
Загальна пористість, %	51.80	56.80	59.90	57.30	55.50	54.70
Максимальна гігроскопічність, %	7.37	8.19	8.47	7.45	6.67	6.15
Вологість в'янення, %	9.88	10.97	11.35	9.98	8.84	8.24
Найменша вологоємність, %	26.74	23.91	22.69	20.94	20.00	20.00
Діапазон активної вологи, мм	21.3	16.3	15.4	17.5	17.3	16.2

Таблиця 1.2 – Гранулометричний склад фракцій, %

Глибина відбору зразків	0 – 10	30 – 40	50 – 60	80 – 90	100 – 110	130 – 140
1 – 0,25	26.0	0.16	0.14	0.12	0.10	0.20
0,25 – 0,05	4.69	16.07	19.80	27.63	29.31	28.71
0,05 – 0,01	52.88	46.44	45.67	41.63	39.81	41.15
0,01 – 0,005	7.28	9.20	6.15	2.61	6.89	5.03
0,005 – 0,001	9.98	6.03	7.27	5.05	4.55	4.95
<0,001	24.91	22.10	20.97	19.36	19.34	19.96
Сума <0,01	42.17	37.32	34.99	30.62	30.78	29.94

Таблиця 1.3 – Валовий хімічний склад ґрунту, %

Глибина відбору зразків, см	0 – 10	30 – 40	50 – 60	80 – 90	100 – 110	130 – 140
SiO ₂	78.21	75.50	75.43	74.46	73.77	73.77
Fe ₂ O ₃	3.24	3.34	3.47	3.43	3.04	3.09
Al ₂ O ₃	9.35	9.06	8.58	8.44	9.11	8.97
CaO	2.19	3.24	5.56	7.10	7.39	7.65
MgO	1.02	1.06	1.16	1.43	1.62	1.64
K ₂ O	2.09	1.99	1.99	1.95	2.08	2.13
SiO ₂ : R ₂ O ₃	11.63	11.44	11.86	11.93	11.38	11.48

Поживний режим чорноземів тісно пов'язаний зі значними валовими запасами біогенних елементів. Ключову роль відіграє загальний вміст гумусу та характер його розподілу по ґрунтовому профілю. Значними є також запаси фосфору (0,15–0,35%), половина з яких пов'язана з органічною речовиною, а решта – з мінеральною (глинистою) частиною ґрунту.

Систематичне окультурювання чорноземів сприяє збільшенню пулу доступних поживних речовин в орному шарі. Зокрема, завдяки яскраво вираженим мікробіологічним процесам нітрифікації, у чистих порах ґрунту накопичується значна кількість нітратів. Однак слід враховувати, що з чорноземів полегшеного гранулометричного складу нітрати можуть інтенсивно вимиватися, особливо в періоди промерзання та відтавання ґрунту в мікропониженнях рельєфу.

1.2. Геологічні та гідрогеологічні умови досліджуваної території

У геоструктурному відношенні тектонічною основою більшої частини території Запорізької області є докембрійські платформні структури Східноєвропейської платформи, зокрема Український кристалічний щит та його схили. Лише на південному заході регіону територія охоплює незначну ділянку північного крила Причорноморської западини, яка є мезозойською структурою.

Причорноморська западина є субширотним прогином блокової будови, заповненим потужною товщею осадових порід мезозойсько-кайнозойського віку. Потужність цього осадового чохла закономірно зростає у південно-східному напрямку, досягаючи 6–7 км у районі Сиваша. На півночі западина межує з кристалічними утвореннями Українського щита, на заході її межа проходить по Передкарпатському крайовому прогину. Під мезо-кайнозойськими осадовими породами западини залягають палеозойські

платформні відклади та докембрійський кристалічний фундамент. Локальними синклінальними та антиклінальними складками западина поділяється на кілька відокремлених блоків. Один із них Сиваський вал – географічно формує Перекопський перешийок і розділяє Причорноморську западину на власне Причорноморську та Азовсько-Кубанську западини.

У геологічній будові регіону беруть участь відклади різного віку й генезису. Загальний розріз представлений переважно породами неоген-міоценового періоду. Протерозойські утворення виходять на поверхню або залягають близько до неї на південному сході області, а також у районі відрогів Донецької складчастої структури на півночі. У прибережній зоні Каховського водосховища значного поширення набули олігоцен-палеогенові та неогенові осадові товщі. Вертикальний профіль екзогенних відкладів у зоні проектування визначається такою послідовністю літологічних шарів:

- сучасний ґрунтово-рослинний шар потужністю від 0,5 до 1,0 м. Середньо-верхньочетвертинні еолово-делювіальні відклади, представлені жовто-бурими, палево-жовтими та червоно-бурими лесовидними суглинками різного механічного складу (легкими, середніми та важкими). Інтервал залягання горизонту становить 0,5–25,0 м при загальній потужності товщі у межах 22–24 м.
- нижньочетвертинні еолово-делювіальні важкі суглинки червоно-бурого забарвлення. Інтервал залягання шару становить 22,0–30,5 м, а його потужність коливається від 3 до 6 м.
- верхньопліоценові–нижньочетвертинні алювіально-озерні відклади, що складаються зі щільних червоно-бурих, зелено-сірих та сірих глин, які у верхній частині профілю переходять у глинисті піски. Потужність шару становить до 2,4 м, інтервал залягання – 28–34 м. Місцями безпосередньо під ґрунтовим шаром до глибини 4–30 м фіксуються озерно-алювіальні (подові) утворення, представлені зелено-сірими суглинками (від легких до важких).

- середньо-верхньопліоценові елювіальні червоно-бурі глини з чітко вираженими карбонатними включеннями. Горизонт залягає в інтервалі 34,7–36,5 м і має потужність близько 1,8 м.

Гідрогеологічний режим території характеризується мінливістю глибини залягання першого від поверхні безнапірного водоносного горизонту. Дзеркало ґрунтових вод коливається в широких межах – від 1,5 до 20 м, при цьому глибина залягання закономірно збільшується у напрямку зі сходу на захід. Загальний рух підземного потоку орієнтований на захід та південний захід.

За хімічним складом підґрунтові води переважно сульфатні та сульфатно-хлоридні із широким діапазоном мінералізації (від слабо- до сильномінералізованих). Водночас у подових відкладеннях формуються слабомінералізовані води гідрокарбонатного та хлоридно-карбонатного типів. Через високий вміст сульфат-іонів підґрунтові води виявляють виражену сульфатну агресивність середнього рівня щодо бетонів нормальної щільності, виготовлених на портландцементі з помірним тепловиділенням (екзотермією). Роль надійного регіонального водоупору для описуваної товщі виконує щільний горизонт пліоценових червоно-бурих глин.

1.3. Кліматичні умови району проєктування

Василівський район розташований у степовій зоні східної частини Причорноморської низовини. Клімат території є помірно континентальним, із яскраво вираженими рисами посушливості та високим рівнем теплозабезпечення. Сума активних температур повітря (понад +10°C) становить 3200–3300 °C. Кількість опадів за період із температурою понад +10°C становить 210–230 мм. Середня тривалість безморозного періоду сягає 180–190 днів.

Температурний режим. Середньобагаторічна температура повітря коливається в межах 8,9–9,4°C. Найтеплішим місяцем є липень із середньобагаторічною температурою 23,1°C (абсолютний максимум сягає +42°C). Найхолодніші місяці – січень та лютий, коли абсолютний мінімум може опускатися до -33°C. Температурний режим досліджуваної території характеризується даними спостережень метеорологічної станції «Пришиб» (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Характеристика температурних показників

Показник	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
Середня багаторічна температура, °C	-4,7	-4	0,8	8,9	16	19,6	22,6	21,6	15,8	9,2	2,7	-2,2	8,9
Абсолютний мінімум, °C	-33	-33	-23	-10	-4	1	25	3	-5	-20	-26	-25	-33
Абсолютний максимум, °C	14	16	25	30	34	39	39	42	36	34	25	16	42

Середньорічна швидкість вітру становить 3,6–3,9 м/с. Протягом більшої частини року (із жовтня по травень) домінують вітри східного та північно-східного напрямків. У літній період (червень–вересень) зростає повторюваність вітрів північного напрямку, а в липні–серпні переважають північні та північно-східні повітряні маси.

Відносна вологість повітря є ключовим індикатором ступеня насиченості атмосфери водяною парою. У районі дослідження найвищі показники середньої відносної вологості фіксуються в осінньо-зимовий та ранньовесняний періоди, досягаючи максимуму в листопаді (85%) та березні (81%). З настанням теплого сезону вологість стрімко знижується: у квітні вона становить 66%, у травні – 62%, а в літні місяці (червень–серпень) тримається на мінімальному рівні – 58–60%. У вересні та жовтні показники знову починають зростати (64% та 76% відповідно). Періоди з відносною вологістю

повітря $\leq 30\%$ класифікуються як посушливі дні з недостатнім зволоженням, тоді як показники $\geq 80\%$ умовно свідчать про надлишкове зволоження.

Річна норма опадів на території нестабільна і в середньому становить 477 мм (з багаторічними коливаннями в межах 370–430 мм). Характерною особливістю клімату є вкрай нерівномірний розподіл опадів протягом року: їхня більша частина випадає у літній період у вигляді інтенсивних злив. Найбільша середньомісячна кількість опадів припадає на травень (50 мм), червень (55 мм) та липень (53 мм). В осінній період спостерігається мінімум опадів: у вересні та жовтні випадає лише 28 мм та 25 мм відповідно. У зимові місяці цей показник становить 34–48 мм, а навесні (березень–квітень) фіксується на рівні 32–33 мм.

1.4. Характеристика джерела зрошення сільськогосподарських культур

Протягом тривалого періоду проектування та експлуатації іригаційного масиву його базовим джерелом водних ресурсів виступало Каховське водосховище на р. Дніпро. Воно замикало дніпровський каскад штучних водойм і займало найпівденніше положення, простягаючись на ділянці від Запоріжжя до Нової Каховки. За своїми гідрологічними характеристиками водосховище класифікувалося як глибоководне, але малопроточне (із середньою швидкістю течії близько 1,6 см/с та коефіцієнтом річного водообміну в межах 1,5–3,0 рази).

Низька проточність у поєднанні зі складною морфометрією чаші зумовлювала інтенсивні процеси седиментації: загальна площа замулювання акваторії становила 79,8 %, а середня потужність мулових відкладів сягала 17,6 см (із локальними максимумами до 1,0 м). Високі показники сумарної сонячної радіації влітку активізували процеси евтрофікації, що призводило до інтенсивного заростання мілководь та сезонного «цвітіння» води синьо-

зеленими водоростями на значній частині дзеркала. Гідрохімічний стан поверхневих вод загалом оцінювався як задовільний. Показники мінералізації коливалися в межах 253–433 мг/л, а в сольовому складі переважали катіони кальцію (Ca^{2+}) та аніони гідрокарбонатів (HCO_3). Концентрація розчиненого кисню була досить високою (6–12,5 мг/л), проте фіксувалися локальні зони дефіциту кисню в місцях скидання стічних вод та в осередках розкладу водоростей. Базові історичні параметри цього водного об'єкта наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Параметри Каховського водосховища

Показник	Параметри
Роки заповнення	1955-1956
Руйнація	2023 рік
Середня багаторічна витрата, $\text{м}^3/\text{с}$	1656
Середня річна притока, км^3	53,2
Річний водообмін, раз	2-3
Площа дзеркала, км^2	2150
Виробіток рівня, м	3-4
Повний об'єм, км^3	18,2
Робочий об'єм, км^3	6,80
Довжина, км	230
Максимальна ширина, км	25
Середня ширина, км	9,3
Максимальна глибина, м	24,0
Середня глибина, м	8,5
Площа мілководдя %	5
Відстань від греблі до гирла Дніпра, км	91
Повний напір на ГТС, км	16,0

Сучасний стан джерела та деградація іригаційної мережі. На сьогоднішній день вищезазначені гідродинамічні та гідрохімічні параметри повністю втратили свою практичну актуальність. Внаслідок катастрофічного руйнування греблі Каховської ГЕС Каховське водосховище було повністю знищене. Наслідком ліквідації цього масштабного штучного басейну стало осушення його чаші та повернення річки Дніпро у своє історичне природне русло. Для наявного зрошувального масиву це означає повну неможливість функціонування колишніх поверхневих водозабірних споруд, що призвело до повної зупинки подачі води у магістральні канали та заблокувало роботу широкозахватної дощувальної техніки.

Альтернативні інженерні рішення в умовах дефіциту води. У сформованих умовах тотальної відсутності поверхневого джерела іригації, єдиним ефективним вектором модернізації системи є переорієнтація на підземні водні ресурси. Технічне вирішення проблеми штучного зволоження ґрунту базується на експлуатації водоносних горизонтів, що розташовані в зоні безпосереднього гідродинамічного впливу нового русла річки Дніпро.

Гідрогеологічні умови цієї прибережної зони забезпечують постійне та стабільне інфільтраційне підживлення підземних вод за рахунок річкового стоку, що гарантує необхідний дебіт експлуатаційних свердловин. Завдяки влаштуванню системи свердловин з'являється можливість циклічного наповнення та акумуляції води в існуючому регулюючому басейні. Водночас кардинальне переобладнання внутрішньогосподарської мережі – перехід від дощування до локального краплинного зрошення – дозволяє суттєво знизити питомі витрати води. Ощадне локальне водовиділення у поєднанні з використанням підземних вод зони впливу нового русла Дніпра повністю нівелює ризики дефіциту вологи та забезпечує стабільне функціонування агроценозів.

2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА РЕЖИМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІСНУЮЧОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Характеристика каналу і трубопровідної мережі

Зрошувальний масив у теперішніх географічних межах сформувався в результаті масштабної реконструкції, проведеної у 80-х роках минулого століття. На той період меліоративна система об'єднувала три окремі технологічні ділянки, а її загальна площа становила 2040,3 га.

Історично базове водопостачання об'єкта здійснювалося з річки Дніпро через акваторію Каховського водосховища. За класичною водогосподарською схемою головна насосна станція забезпечувала підйом води та її транспортування напірним магістральним трубопроводом до центрального регулюючого басейну, розташованого на командній відмітці меліорованого масиву (рис. 2.1). З цього акумулюючого резервуара вода розподілялася головним відкритим каналом до інших регулюючих басейнів, при яких безпосередньо функціонували насосні станції підкачки. З огляду на сучасне зникнення водосховища, наявний комплекс споруд та басейнів розглядається як інженерна основа для модернізації із переорієнтацією на підземні джерела наповнення системи.

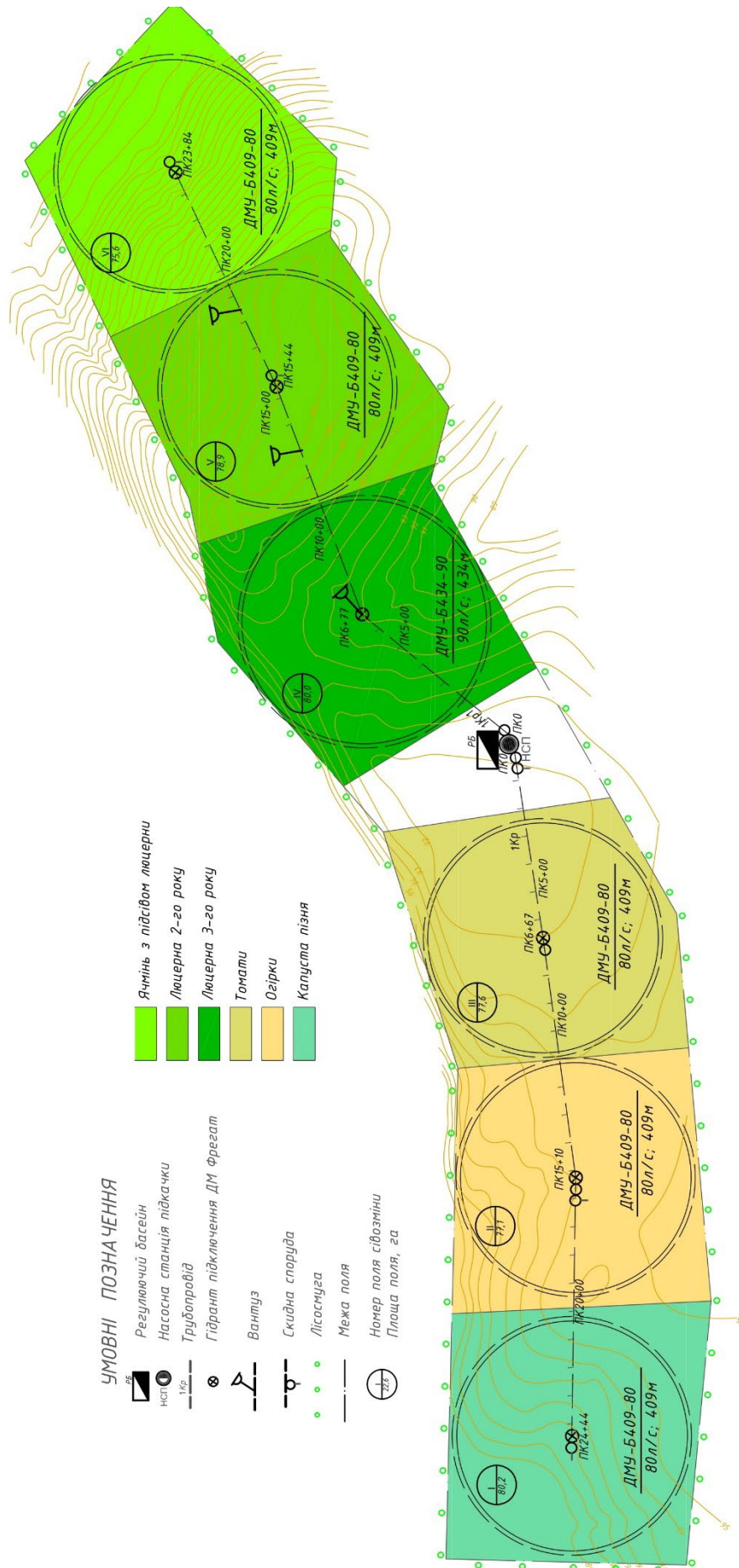


Рисунок 2.1 – Схема досліджуваного масиву зрошення

Транспортна та розподільча інфраструктура масиву поєднує відкриті елементи та мережу закритих трубопроводів. Відкрита зрошувальна мережа представлена магістральним каналом у залізобетонному облицюванні протяжністю 7684 м. Організація подальшого розподілу води здійснюється через внутрішньогосподарську мережу, яка в процесі тривалої експлуатації частково зберегла залізобетонне кріплення русла, а частково представлена збірними залізобетонними лотками.

Закрита розподільча мережа, призначена для підведення води безпосередньо до поливних позицій, характеризується значною протяжністю та матеріальним різноманіттям трубного фонду:

- ✓ залізобетонні трубопроводи загальною довжиною 7153 м;
- ✓ сталеві магістралі великого діаметра (від 500 до 1000 мм) сумарною протяжністю 1530 м;
- ✓ тонкостінні сталеві розподільники діаметром до 500 мм загальною довжиною 22009 м.

Безпосередньо на зрошуваній ділянці, що є об'єктом інженерного переоснащення у цьому проекті, транспортування води до шести полів сівозмінні здійснюється за допомогою закритих розподільчих ліній із сучасних поліетиленових (ПЕ) труб. Цей трубопровідний комплекс оперує діаметрами від 250 до 500 мм, а його сумарна протяжність становить 8785 м. Детальне графічне відображення поздовжнього профілю, а також ключові розрахункові гідравлічні елементи зазначеної закритої іригаційної мережі наведені на рисунку 2.2.

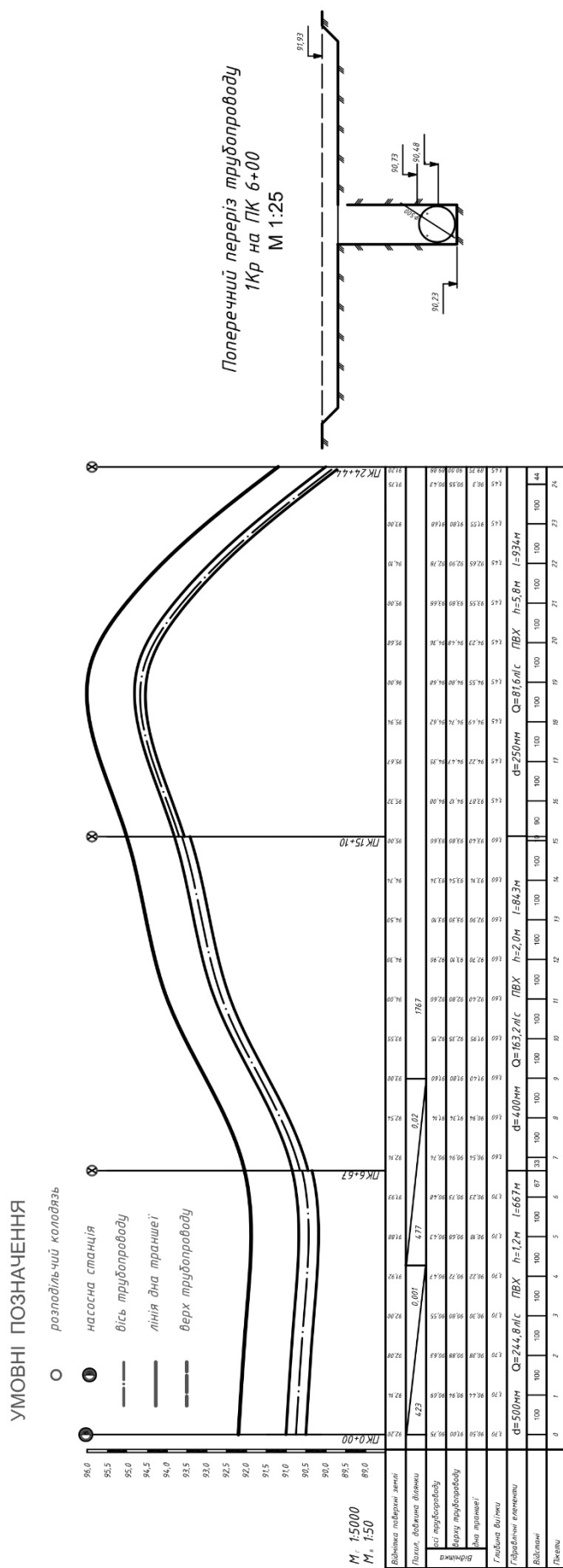


Рисунок 2.2 – Поздовжній профіль зрошувального трубопроводу

2.2. Характеристика насосної станції

Насосна станція підкачки являє собою цілісний комплекс гідротехнічних споруд та інженерного обладнання, змонтованого за визначеною технологічною схемою для забезпечення регульованої подачі та розподілу поливної води на зрошуваному масиві. Структурна архітектура станції включає насосні агрегати (насоси в комплекті з двигунами), водоприймальні споруди, а також систему всмоктувальних і напірних трубопроводів із відповідним комплектуючим обладнанням. Для забезпечення надійної експлуатації, маневреності та автоматизації технологічних процесів насосна станція оснащена рядом спеціалізованих інженерних систем:

Трубопровідна арматура та фасонні елементи представлені запірно-регулюючими засувками, зворотніми клапанами та спеціалізованими фасонними частинами трубопроводів, що забезпечує керування потоками рідини та гідродинамічний захист системи.

Механічне та підйомно-транспортне обладнання представлене ручними талями, електротельферами, підвісними кран-балками з ручним або електричним приводом, а також мостовими кранами, які використовуються для виконання монтажних і ремонтно-профілактичних робіт із важким устаткуванням. Допоміжне технологічне обладнання включає спеціалізовану систему заливки відцентрових насосів перед пуском, яка реалізована на базі функціональних вакуум-насосів.

Електротехнічний комплекс об'єднує силові електродвигуни, розподільні щити, системи комутації та захисту, а також трансформаторну підстанцію, що забезпечує стабільне енергопостачання всього об'єкта.

Контрольно-вимірювальні прилади (КВП) та автоматика призначені для безперервного моніторингу й контролю технологічних параметрів роботи станції. Тиск і розрідження в напірних трубопроводах та всмоктувальних патрубках кожного насоса вимірюються за допомогою манометрів і вакуумметрів. Облік поточної витрати та сумарних обсягів поданої поливної води здійснюється за допомогою відповідних витратомірів та лічильників рідини.

Силу основу гідротехнічного комплексу на досліджуваній насосній станції становлять відцентрові насоси марки Д200-90. Загальна кількість встановлених агрегатів становить 3 одиниці, з яких 2 є основними (робочими), а 1 – резервним, що гарантує безперебійність водоподачі у випадку проведення планового ремонту або аварійних ситуацій. Конструктивні особливості, габаритні креслення та напірно-витратні характеристики зазначеного насосного обладнання наведені на рисунках 2.3 та 2.4.

Насосно-силове обладнання знаходиться у задовільному стані, тому його реконструкції або заміна даним проєктом не передбачається.

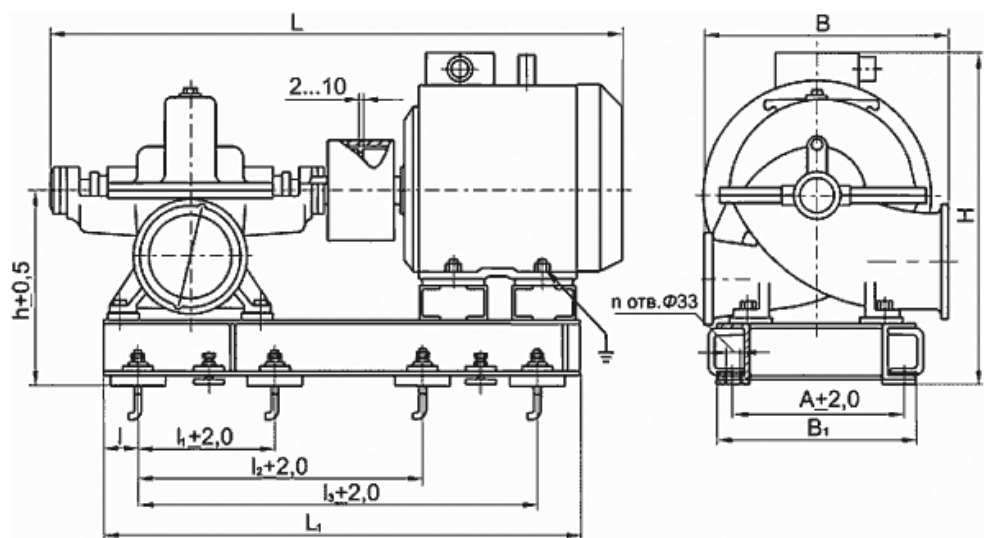


Рисунок 2.3 – Габаритне креслення насосного агрегату (Д200-90)

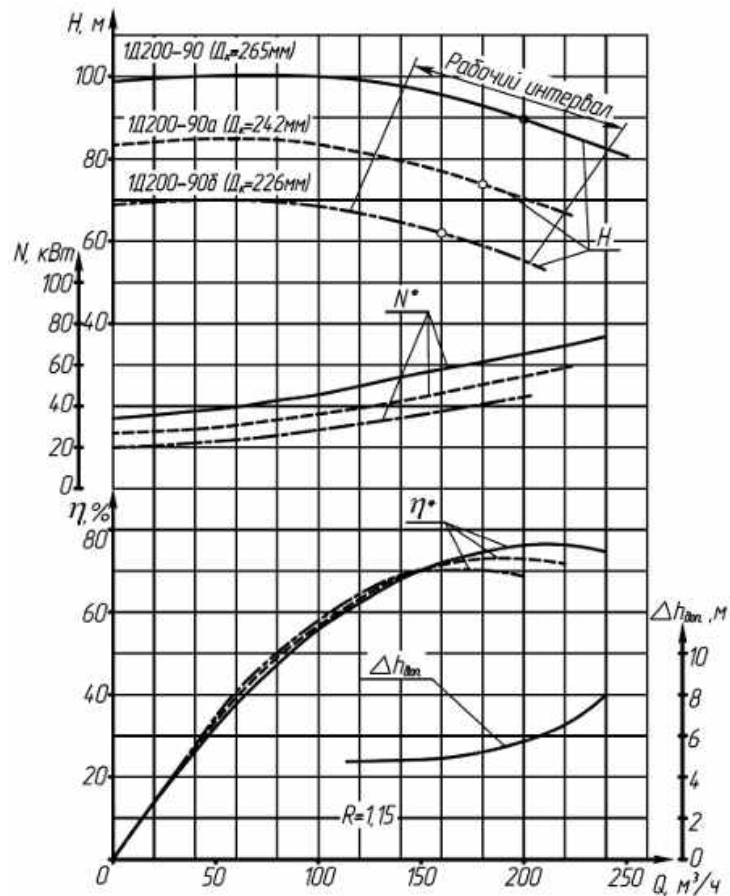


Рисунок 2.4 – Напірна характеристика насосу Д200-90 ($Q=0,22 \text{ м}^3/\text{с}$)

2.3. Режим експлуатації та характеристика дощувальної техніки

На досліджуваному зрошувальному масиві для зволоження сільськогосподарських культур експлуатується комплекс із шести дощувальних машин марки ДМУ «Фрегат». Зазначена техніка являє собою електрифіковану багатоопорну систему фронтально-кругового переміщення, яка призначена для поливу дощуванням широкого спектра угідь: зернових, овочевих, технічних культур, а також багаторічних трав, у тому числі високостеблових культур.

Водопостачання машини здійснюється від гідрантів закритої зрошувальної мережі за допомогою гнучкого шланга. Технологічний процес поливу реалізується в динаміці: машина здатна працювати як у фронтальному режимі (рухаючись лінійно, паралельно системі гідрантів), так і в круговому (обертаючись навколо центральної опори силового візка).

Конструктивні особливості дощувальної машини включають такі основні технологічні вузли:

- ✓ центральний (силовий) водоприймальний візок: базова конструкція пірамідальної форми, змонтована зі стояків та поперечин на двох балках прямокутного перерізу. На ньому розміщено енергосилову установку (дизельний двигун і дизель-генератор), водопідвідний стояк, головний пульт управління та напрямні штанги з лижами для контролю лінійного руху по борозні.
- ✓ водопровідний трубопровід (ферма): збірна металоконструкція із семи шарнірно з'єднаних прольотів та консолей, що забезпечує транспортування води до робочих органів по всій довжині захвату.
- ✓ самохідні опорні візки: несучі конструкції трубчастої форми, кожна з яких оснащена мотор-редуктором, двома карданними валами та пневматичними колесами з власними редукторами.
- ✓ робочі органи (дощувальні насадки): система розподілу води представлена 125 насадками кругової дії та 28 насадками секторної дії. Секторні насадки монтуються поблизу проміжних та кінцевого візків для оптимізації контуру поливу.

Комплексна система управління, сигналізації та захисту відповідає за пуск, зупинку та вибір траєкторії руху машини. Вона забезпечує автоматичне синхронізоване управління електродвигунами опорних візків для підтримки лінійності ферми під час руху, а також гарантує захист силових електричних кіл і механічних вузлів від аварійних навантажень. Завдяки такому рівню автоматизації машина здатна виконувати тривалі технологічні цикли поливу з мінімальним втручанням оператора. Детальні техніко-експлуатаційні

показники та загальний вигляд ДМУ «Фрегат» наведено в таблиці 2.1 і на рисунку 2.5.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика ДМУ «Фрегат»

Показники призначення	
Тип машини	багатоопорна, електрифікована, з забором води по шлангу від гідрантів закритої зрошувальної мережі
Привод опорних візків	електромеханічний
Тиск води на насосі, МПа	0,65
Робоча ширина захвату, м	408
Продуктивність, га за годину основного часу при поливній нормі ($m=600 \text{ м}^3/\text{га}$)	0,45
Кількість прольвів, шт.	14
Показники якості роботи	
Дошувальні насадки кругові:	
марка, тип	i-Wob
кількість, шт	125
Дошувальні насадки секторні:	
марка, тип	i-Wob
кількість, шт	28
Середня робоча швидкість, м/год	41,4
Шар дощу за прохід, мм	13,4
Коефіцієнт ефективного поливу	0,846
Коефіцієнт рівномірності зрошення, %	86,3
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,76
Середній діаметр краплі, мм	0,65
Енергетичні показники	
Дизель-генератор:	
марка двигуна	EP 19 STA 3
номінальна потужність двигуна, кВт	17,0
номінальна потужність генератора, кВт	15,0
Питомі витрати палива, л/га ($m=600 \text{ м}^3/\text{га}$)	4,28



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд дощувальної машини «Фрегат»

Аналіз технічних характеристик свідчить, що модель ДМУ «Фрегат» має значні переваги порівняно зі старішими аналогами. Зокрема, це просторова маневреність (можливість фронтального та кругового руху), вдосконалені енергетичні показники та гнучкість у регулюванні напору й витрати води. Саме ці конструктивні особливості роблять машину надійною базою для майбутнього переобладнання під систему краплинного зрошення.

3. ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМУ ЗРОШЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

3.1. Розрахунок режиму зрошення кормо-овочевої сівозміни

Режим зрошення (або поливний режим) є базовою організаційно-технологічною характеристикою меліоративного процесу. Він являє собою науково обґрунтовану сукупність параметрів, що включає поливні та зрошувальні норми, строки (графік) і кратність поливів, які диференціюються відповідно до конкретних ґрунтово-кліматичних, гідрогеологічних та агротехнічних умов вирощування сільськогосподарських культур.

Головним функціональним завданням оптимізації режиму зрошення є штучне регулювання, формування та пролонгована підтримка в активному (кореневмісному) шарі ґрунту оптимального водно-повітряного й поживного режимів. Оптимальне зволоження дозволяє повністю нівелювати стресові чинники водного дефіциту для рослин та забезпечити максимальну біологічну продуктивність агроценозів для стабільного отримання запланованих обсягів високої врожайності.

Розрахунковий період та кліматичне обґрунтування. Для забезпечення високої надійності та довгострокової експлуатаційної стійкості зрошувальних мереж, проектування їхніх параметрів здійснюється на основі розрахунку водоспоживання для умов посушливого (сухого) року 75%-ї забезпеченості (імовірності перевищення). Ідентифікація та вибір такого базового розрахункового року реалізується шляхом статистичного аналізу

ретроспективного багаторічного ряду метеорологічних спостережень у районі розташування об'єкта.

Оскільки ключові метеорологічні фактори – атмосферні опади, температурний режим, дефіцит вологості та відносна вологість повітря – характеризуються значною циклічною мінливістю як у багаторічному розрізі, так і протягом окремих фаз вегетаційного періоду, під час проектування іригаційних систем оперують їхніми узагальненими комплексними характеристиками, які розраховані за конкретними міжфазними періодами розвитку культур.

Ключовим елементом поливного режиму виступає поливна норма, під якою розуміють питомий об'єм води, що подається на один гектар зрошуваної площі за один технологічний цикл поливу. Поливна норма виражається в кубічних метрах на гектар або в міліметрах шару води.

Кількісне значення цього показника не є константним і визначається комплексом взаємопов'язаних факторів, серед яких провідну роль відіграють:

- водно-фізичні та гідрологічні властивості ґрунтового покриву (найменша вологоємність, щільність складання, поточна вологість);
- геоморфологічні особливості ділянки (рельєф, мікрорельєф та наявні похили поверхні);
- біологічні специфіки вирощуваної культури (глибина залягання основної маси кореневої системи на різних етапах вегетації);
- безпосередній спосіб та обрана інженерно-технічна система поливу (широкозахватне дощування чи локальне краплинне зрошення).

Для визначення оптимального розрахункового значення поливної норми, яке б забезпечувало якісне зволоження заданої товщі ґрунту без ризику гравітаційного вимивання поживних речовин в нижні горизонти або перезволоження поверхні, використовують класичну аналітичну залежність О. М. Костякова:

$$m = 100N\gamma(\beta_{\text{нв}} - \beta_{\text{доп}}), \quad (3.1)$$

де H – глибина розрахункового шару ґрунту, м; γ – щільність розрахункового шару ґрунту, г/см³; $\beta_{\text{нв}}$ – вологість ґрунту, що відповідає найменшій вологості ґрунту, %; $\beta_{\text{доп}}$ – вологість ґрунту, що відповідає допустимому порогу висушування, %.

Особливістю застосування способу дощування є необхідність жорсткої координації поливної норми з гідродинамічними параметрами штучного дощу (насамперед, його інтенсивністю) та водно-фізичними властивостями ґрунту (швидкістю вбирання вологи або всмоктувальною здатністю). Крім того, на розрахункові показники суттєво впливають геоморфологічні характеристики ділянки, такі як загальний рельєф та похил поверхні поля.

Головним технологічним та екологічним лімітом при проектуванні таких систем є те, що фактична (технологічна) норма поливу за жодних обставин не повинна перевищувати достоківу, тобто ерозійно допустиму норму. Перевищення цього граничного показника призводить до утворення поверхневого стоку, деградації структури ґрунту (іригаційної ерозії) та непродуктивних втрат поливної води.

Для розрахунку достоківної поливної норми при використанні широкозахватних багатоопорних дощувальних машин типу «Фрегат» в інженерно-меліоративній практиці застосовують аналітичну залежність М. С. Єрхова:

$$m = K_v / (\rho^{1/2} e^{0.5d}), \quad (3.2)$$

де K_v – показник який враховує всмоктувальну здатність ґрунту, мм; ρ – інтенсивність штучного дощу, мм/хв; d – середній діаметр крапель, мм.

В нашому випадку середньосуглинкові ґрунти мають всмоктуючу здатність $K_v=60$ мм ; $\rho=0,6$ мм/хв; $d=1,5$ мм .

$$m = 60 / (0,3^{1/2} e^{0,5 \cdot 1,5}) = 52 \text{ мм.}$$

Розрахунок та обґрунтування сумарних зрошувальних норм для всього спектра сільськогосподарських культур, що складають структуру запроєктованої сівозміни, виконано відповідно до чинних нормативних вимог ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди». Крім того, під час визначення параметрів штучного зволоження було враховано галузеві методичні вказівки та рекомендації щодо моделювання оптимальних режимів зрошення сільськогосподарських культур в умовах Степової зони України.

Ці показники є базовою інженерно-технологічною основою для подальшого розрахунку водних потреб системи та безпосереднього гідравлічного розрахунку розподільчої мережі трубопроводів. Диференційовані за фазами вегетації та біологічними особливостями водоспоживання рослин сумарні зрошувальні норми для умов розрахункового року 75%-ї забезпеченості наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Зрошувальні норми сільськогосподарських культур

№ поля	Культура	Зрошувана площа, га	Зрошувальна норма, м ³ /га
1	Ячмінь з підсівом люцерни	63,3	3600
2	Люцерна 2-го року	56,5	4000
3	Люцерна 3-го року	56,5	3500
4	Томати	76,0	3400
5	Огірки	73,2	2400
6	Капуста пізня	73,7	3000

Строки поливів і поливні норми визначаємо виходячи із середніх дат початку фаз розвитку окремих с.-г. культур (таблиці 3.2, 3.3).

Таблиця 3.2 – Середні дати початку фаз розвитку окремих с.-г. культур

Культура	Дати			
	сівба	сходи	критичний період	дозрівання
Ранні ярові (ячмінь)	26.03	8.04	15.05	4.07
Люцерна 2,3-го року	-	22.03	16.03	15.10
Капуста пізня (безрозсадна)	10.05	25.05	25.06	15.01
Томати	10.04	21.05	12.06	31.08
Огірки	8.05	21.05	22.06	31.08

Таблиця 3.3 – Режим зрошення с.-г. культур (середня дата поливу / поливна норма, м³/га)

Культура	Номер поливу									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ярий ячмінь, яра пшениця	—	<u>18.05</u> 300	<u>29.05</u> 400	<u>9.06</u> 400	—	—	—	—	—	—
Люцерна 1-го року (пожнивно)	<u>15.07</u> 500	<u>03.08</u> 500	<u>13.08</u> 500	<u>29.08</u> 500	<u>10.09</u> 500	—	—	—	—	—
Люцерна 2-го та 3-го року життя	—	<u>15.04</u> 600	<u>18.05</u> 500	<u>19.06</u> 500	<u>30.06</u> 500	<u>12.07</u> 500	<u>23.07</u> 500	<u>6.08</u> 500	<u>22.08</u> 500	<u>6.09</u> 500
Томати посівні	—	<u>15.06</u> 300	<u>24.06</u> 300	7.07 400	16.07 400	23.07 400	<u>30.07</u> 400	<u>8.08</u> 400	<u>16.08</u> 400	<u>26.08</u> 400
Огірки середні та пізні	—	<u>21.05</u> 300	<u>24.06</u> 300	<u>01.07</u> 300	<u>10.07</u> 300	<u>17.07</u> 300	<u>25.07</u> 300	<u>05.08</u> 300	<u>17.08</u> 300	—
Капуста середня та пізня	<u>5.05</u> 300	<u>26.05</u> 300	<u>12.06</u> 300	<u>25.06</u> 300	<u>03.07</u> 300	<u>16.07</u> 300	<u>23.07</u> 300	<u>29.07</u> 300	<u>11.08</u> 300	<u>26.08</u> 300

На основі попередньо визначених параметрів водоспоживання, поливних та зрошувальних норм для кожної культури запроєктованої сівозміни розробляється календарний план інтегральної подачі води. Для цього послідовно будуються теоретичний (неукомплектований) та експлуатаційний

(укомплектований) графіки поливів (рис. 3.1, 3.2), а також складаються відповідні їм розрахунково-технологічні відомості (табл. 3.4, 3.5).

Первинний (неукомплектований) графік відображає чисту біологічну потребу сільськогосподарських культур у волозі без прив'язки до технічних обмежень меліоративної інфраструктури. Оскільки одночасний полив кількох культур на масиві часто призводить до пікових навантажень, які перевищують пропускну здатність трубопроводів та максимальний дебіт джерела водопостачання, виконується укомплектування (регулювання) графіка. Модернізований (укомплектований) графік дозволяє вирівняти ординати сумарного водозабору, забезпечити рівномірний та ощадний режим роботи насосного обладнання, а також оптимізувати організацію праці шляхом незначного зміщення строків поливу в межах допустимих агротехнічних термінів (без шкоди для вегетації рослин).

Ключовим технологічним параметром, необхідним для заповнення розрахункових відомостей та координації роботи поливних модулів, є тривалість поливу однієї позиції (або окремого технологічного блоку краплинного зрошення). Цей показник визначається за формулою:

$$t = F \cdot m_{\text{бр}} / (3,6 \cdot Q_m \cdot \tau \cdot \beta_{\text{доб}}). \quad (3.3)$$

Отриману тривалість поливу округлюємо до цілої кількості діб. Маючи середню дату поливу (табл. 3.3) і тривалість поливу (табл. 3.4) вказуємо дату початку і кінця поливу.

Визначаємо гідромодуль. Гідромодулем називають витрату, що необхідно подати на 1 га зрошуваного поля і визначають за формулою

$$q = Q / F. \quad (3.4)$$

Для нашого випадку максимальна витрата, що необхідно подати на сівозміну складає 250 л/с, таким чином максимальний гідромодуль складає $q = 250/399,2 = 0,62 \text{ л/с} \cdot \text{га}$.

Таблиця 3.4 – Відомість неуккомплектованого графіку поливів

№ поля	Культура	F, га	M, м ³ /га	№ поливу	m, м ³ /га	t, діб	Початок	Кінець	Q, л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ячмінь з підсівом люцерни	63,3	3600	1	300	3	16.05	18.05	90
				2	400	4	28.05	31.05	90
				3	400	4	07.06	10.06	90
				4	500	5	12.07	16.07	90
				5	500	5	01.08	05.08	90
				6	500	5	10.08	14.08	90
				7	500	5	26.08	30.08	90
				8	500	5	07.09	11.09	90
2	Люцерна 2-го року	56,5	4000	1	500	5	15.05	19.05	80
				2	500	5	16.06	20.06	80
				3	500	5	27.06	01.07	80
				4	500	5	09.07	13.07	80
				5	500	5	20.07	24.07	80
				6	500	5	03.08	07.08	80
				7	500	5	19.08	23.08	80
				8	500	5	03.09	07.09	80
3	Люцерна 3-го року	56,5	3500	1	500	5	15.05	19.05	80
				2	500	5	16.06	20.06	80
				3	500	5	27.06	01.07	80
				4	500	5	09.07	13.07	80
				5	500	5	20.07	24.07	80
				6	500	5	03.08	07.08	80
				7	500	5	19.08	23.08	80
4	Томати	76	3400	1	300	4	13.06	16.06	80
				2	300	4	22.06	25.06	80
				3	400	6	04.07	09.07	80
				4	400	6	13.07	18.07	80
				5	400	6	20.07	25.07	80
				6	400	6	27.07	01.08	80
				7	400	6	05.08	10.08	80
				8	400	6	13.08	18.08	80
				9	400	6	23.08	28.08	80
5	Огірки	73,2	2400	1	300	4	19.05	22.05	80
				2	300	4	22.06	25.06	80
				3	300	4	30.06	03.06	80
				4	300	4	08.07	11.07	80
				5	300	4	15.07	18.07	80

№ поля	Культура	F, га	M, м ³ /га	№ поливу	m, м ³ /га	t, діб	Початок	Кінець	Q, л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				6	300	4	23.07	26.07	80
				7	300	4	03.08	06.08	80
				8	300	4	15.08	18.08	80
6	Кпуста пізня	73,7	3000	1	300	4	03.05	06.05	80
				2	300	4	24.05	27.05	80
				3	300	4	10.06	13.06	80
				4	300	4	23.06	26.06	80
				5	300	4	01.07	04.07	80
				6	300	4	14.07	17.07	80
				7	300	4	21.07	24.07	80
				8	300	4	27.07	30.07	80
				9	300	4	09.08	12.08	80
				10	300	4	24.08	27.08	80

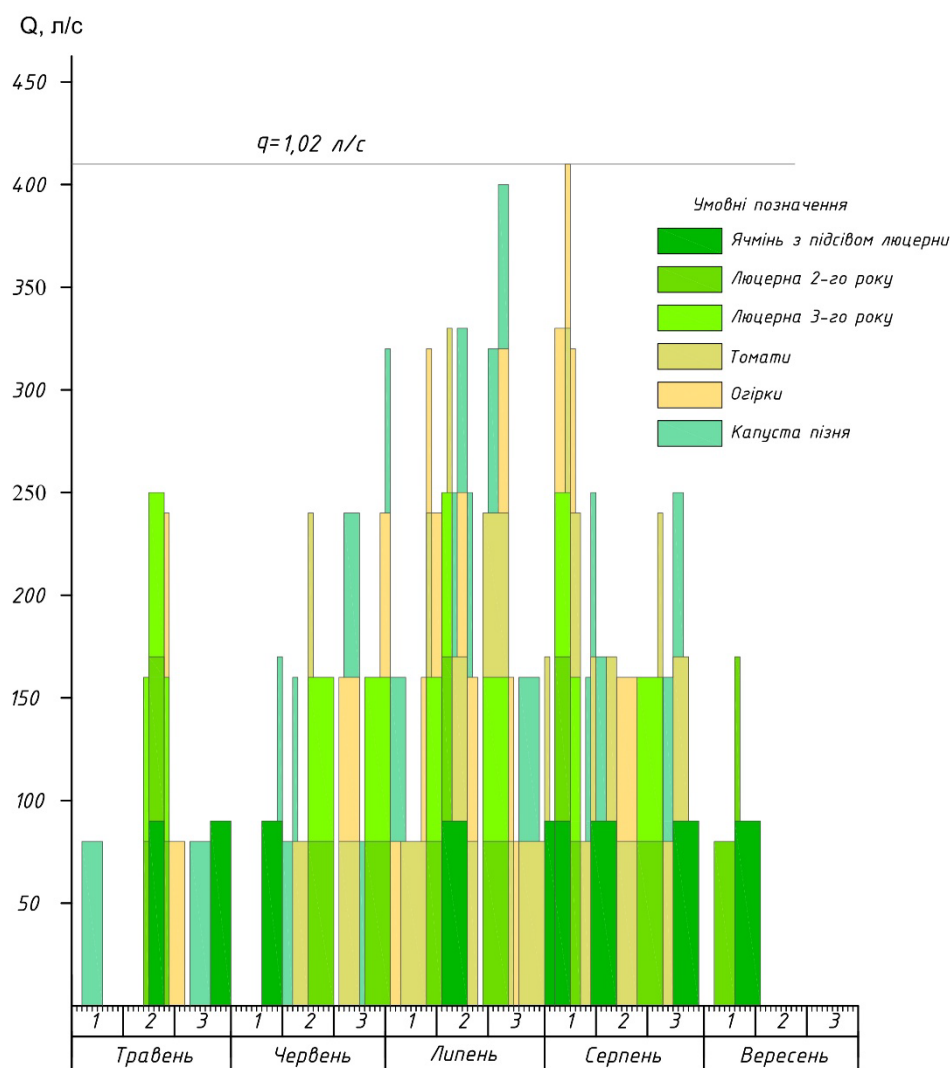


Рисунок 3.1 – Неукomплектований графік поливів с.-г. культур

Таблиця 3.5 – Відомість укомплектованого графіку поливів

№ поля	Культура	F, га	M, м ³ /га	№ поливу	m, м ³ /га	t, діб	початок	кінець	Q, л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ячмінь з підсівом люцерни	63,3	3600	1	300	3	14.05	16.05	90
				2	400	4	28.05	31.05	90
				3	400	4	08.06	11.06	90
				4	500	5	13.07	17.07	90
				5	500	5	30.07	03.08	90
				6	500	5	09.08	13.08	90
				7	500	5	26.08	30.08	90
				8	500	5	08.09	12.09	90
2	Люцерна 2-го року	56,5	4000	1	500	5	17.05	21.05	80
				2	500	5	16.06	20.06	80
				3	500	5	27.06	01.07	80
				4	500	5	08.07	12.07	80
				5	500	5	18.07	22.07	80
				6	500	5	04.08	08.08	80
				7	500	5	21.08	25.08	80
				8	500	5	03.09	07.09	80
3	Люцерна 3-го року	56,5	3500	1	500	5	17.05	21.05	80
				2	500	5	16.06	20.06	80
				3	500	5	27.06	01.07	80
				4	500	5	08.07	12.07	80
				5	500	5	18.07	22.07	80
				6	500	5	04.08	08.08	80
				7	500	5	21.08	25.08	80
4	Томати	76	3400	1	300	4	12.06	15.06	80
				2	300	4	23.06	26.06	80
				3	400	6	02.07	07.07	80
				4	400	6	14.07	19.07	80
				5	400	6	23.07	28.07	80
				6	400	6	29.07	03.08	80
				7	400	6	09.08	14.08	80
				8	400	6	15.08	20.08	80
				9	400	6	24.08	29.08	80
5	Огірки	73,2	2400	1	300	4	22.05	25.05	80
				2	300	4	23.05	26.05	80
				3	300	4	02.07	05.07	80
				4	300	4	06.07	09.07	80

№ поля	Культура	F, га	M, м³/га	№ поливу	m, м³/га	t, діб	початок	кінець	Q, л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				5	300	4	10.07	13.07	80
				6	300	4	19.07	22.07	80
				7	300	4	04.08	07.08	80
				8	300	4	14.08	17.08	80
6	Кпуста пізня	73,7	3000	1	300	4	03.05	06.05	80
				2	300	4	22.05	25.05	80
				3	300	4	12.05	15.05	80
				4	300	4	23.06	26.06	80
				5	300	4	04.07	07.07	80
				6	300	4	13.07	16.07	80
				7	300	4	23.07	26.07	80
				8	300	4	31.07	03.08	80
				9	300	4	09.08	12.08	80
				10	300	4	26.08	29.08	80

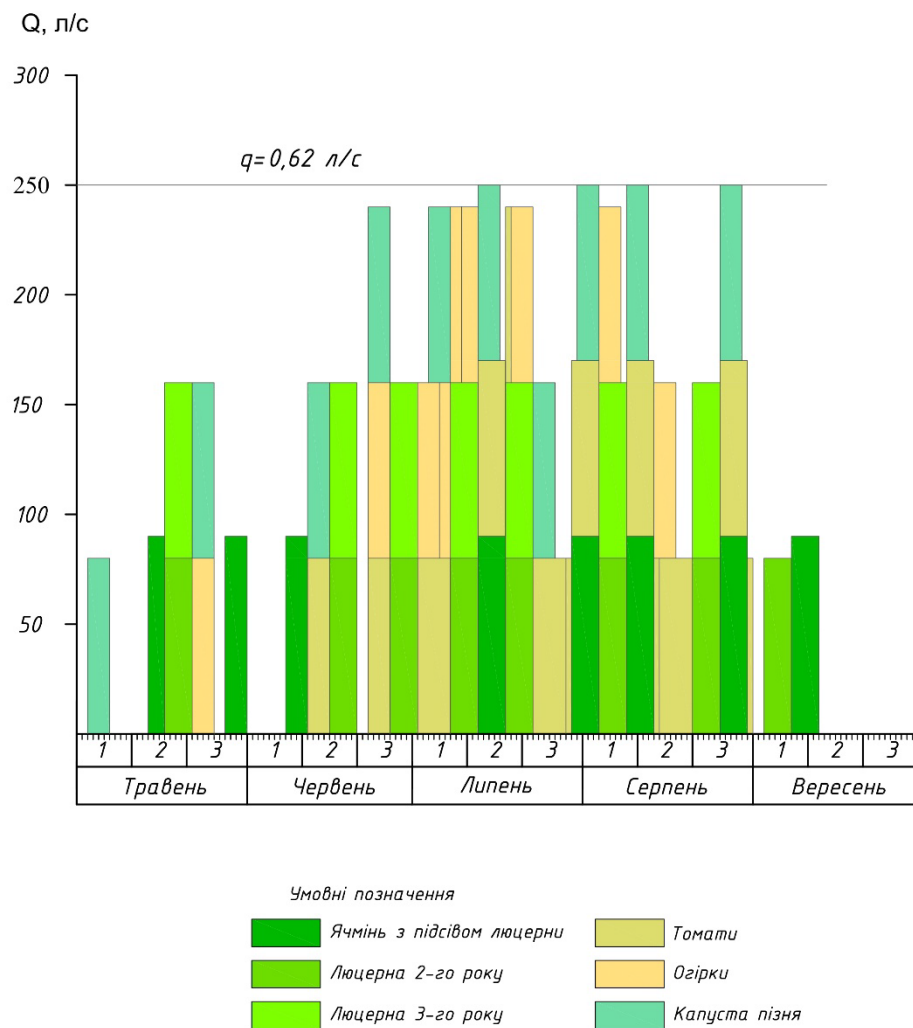


Рисунок 3.3 – Укомплектований графік поливів с.-г. культур

3.2. Розробка технологічних карти вирощування сільськогосподарських культур

В умовах сучасного інтенсивного землеробства, поряд із традиційними агротехнічними прийомами, ключового значення набувають методи програмування врожаїв. Суть цього концептуального підходу полягає у точному розрахунку оптимальних норм забезпечення головних факторів життєдіяльності рослин. Це передбачає суворе наукове нормування обсягів поливної води, доз мінерального живлення та кількості посівного матеріалу, необхідних для гарантованого формування заздалегідь запланованих показників урожайності.

Впровадження таких ресурсощадних технологій дозволяє не лише оптимізувати біологічну продуктивність агроценозів, але й забезпечити максимально раціональне, економічно та екологічно обґрунтоване використання природних і матеріально-технічних ресурсів господарства.

Базуючись на зазначених принципах, для умов запроєктованого зрошуваного масиву було розроблено спеціалізовані технологічні карти вирощування культур, що входять до структури сівозміни. Зведені розрахункові дані щодо загальної потреби кожної сільськогосподарської культури у мінеральних добривах для досягнення цільового рівня врожайності наведено в таблиці 3.6.

Для забезпечення високої продуктивності запроєктованої сівозміни розроблено комплекс агротехнічних та меліоративних заходів, адаптованих до біологічних особливостей кожної сільськогосподарської культури.

Таблиця 3.6 – Загальна потреба культур в мінеральних добривах

№ поля	Найменування сільськогосподарської культури	Норми внесення в діючій речовині, кг/га			Перегній, т/га
		N	K ₂ O	P ₂ O	
1	Ячмінь з підсівом люцерни	120	120	45	30
2	Люцерна 2-го року	0	45	50	0
3	Люцерна 3-го року	0	45	50	0
4	Томати	180	50	220	30
5	Огірки	120	100	180	40
6	Капуста пізня	180	100	220	30
В середньому на сівозміну		109	78	137	23

Ячмінь ярий. Ця культура характеризується низькою конкурентоспроможністю щодо бур'янів на початкових етапах розвитку, тому її розміщення в сівозміні передбачається після чистих, добре удобрених попередників. Оптимальними попередниками виступають зернобобові культури. З метою запобігання ураженню посівів кореневими гнилями та іншими фітопатогенами не рекомендується висівати ячмінь після колосових культур. Також слід утриматися від посіву після соняшнику та суданської трави, які надмірно висушують ґрунтовий профіль і засмічують поле падалицею. Система обробітку ґрунту включає основний (зяблевий) та передпосівний обробітки. Ячмінь позитивно реагує на глибоку оранку, яка сприяє розвитку потужної кореневої системи та покращує аерацію ґрунту. Культура має високу чутливість до мінерального живлення: внесення добрив інтенсифікує наростання біомаси, підвищує коефіцієнт кущистості та оптимізує біохімічний склад зерна. Водночас надмірний рівень азотного живлення може призвести до раннього вилягання посівів, що вимагає точного нормування доз.

Багаторічні трави (люцерна). Серед спектра кормових культур люцерна є найбільш економічно вигідною; вона виступає потужним джерелом високоякісного протеїну (з повноцінним амінокислотним складом) та каротину. Основний обробіток ґрунту під люцерну, особливо на суглинкових чорноземах, передбачає глибоку оранку на 30–32 см. Якість і глибина основного обробітку безпосередньо визначають інтенсивність росту трав протягом перших двох років вегетації. У наступні роки відбувається природне ущільнення ґрунту, що вимагає застосування спеціальних агротехнічних прийомів догляду за травостоєм для підтримання його стабільної продуктивності. На ерозійно небезпечних ділянках традиційну оранку плугом із передплужником доцільно замінювати на плоскорізний обробіток (на глибину 22–24 см). Система удобрення включає внесення добрив під основний обробіток, передпосівну культивуацію, а також підживлення в період вегетації. Важливу роль відіграють органічні добрива, які комплексно забезпечують рослини елементами живлення, знижують об'ємну масу ґрунту та суттєво покращують його фізичні властивості (пористість і аерацію).

Відмітимо, що традиційно вирощування зернових та кормових культур (ячменю, люцерни) у досліджуваному господарстві (ФГ «Велес») здійснюється із застосуванням технології поверхневого дощування за допомогою багатоопорних машин кругової та фронтальної дії ДМУ «Фрегат».

Томати. Овочеві культури, зокрема томати, висувають підвищені вимоги до родючості та агрофізичних властивостей ґрунту, а також є найбільш економічно обґрунтованою ланкою для впровадження систем локального краплинного зрошення. Технологічний цикл підготовки поля розпочинається після збирання попередника і включає лущення (одно- чи дворазове дискування) для подрібнення пожнивних залишків. Наступним етапом є глибока зяблева оранка на 25–30 см. У ранньовесняний період виконується закриття вологи (боронування) та передпосівна культивуація. Формування насаджень відбувається за стрічковою схемою посадки: відстань між стрічками становить 1,8 м, між рядками у стрічці – 0,6 м, а крок між рослинами

в рядку – 0,3 м (рис. 3.3). За такої просторової конфігурації площа живлення однієї рослини становить 0,27 м², що забезпечує оптимальну експлуатаційну густоту стояння на рівні 37 тис. рослин на гектар.

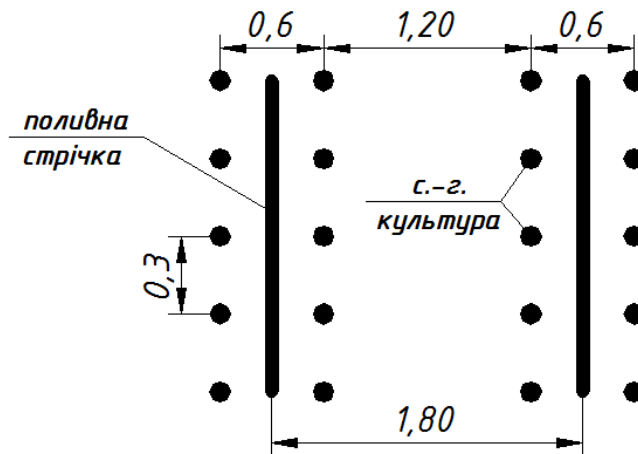


Рисунок 3.3 – Схема посадки томатів

Технологічний процес штучного зволоження насаджень томатів повністю базується на впровадженні систем локально-ощадного краплинного поливу. Завдяки такому інженерному рішенняю досягається максимально висока рівномірність розподілу вологи безпосередньо в зоні формування основної маси кореневої системи рослин, що виключає ризик непродуктивних втрат води на випаровування та фільтрацію в глибокі шари. Суттєвою технологічною перевагою цього способу є можливість реалізації фертигації – синхронного внесення легкокорозчинних форм мінеральних добрив разом із поливною водою. Це дозволяє здійснювати прецизійне (точне) регулювання доз поживних речовин відповідно до поточних етапів органогенезу та фаз розвитку культури.

Монтаж елементів системи краплинного зрошення виконується безпосередньо до моменту висівання насіння або висаджування розсади у відкритий ґрунт. Конструктивне розгортання та укладання краплинних ліній (стрічок) здійснюється паралельно з посівом за допомогою спеціально переобладнаних сівалок або механізованих комплексів, а за умов дрібноконтурних ділянок – вручну, відразу після завершення посівних робіт.

Такий підхід дозволяє розпочати вегетаційні та провокаційні поливи негайно після завершення сівби, що гарантує отримання швидких, дружніх та біологічно вирівняних сходів.

Огірки. Ця овочева культура висуває підвищені вимоги до агрофізичних властивостей ґрунтового покриву, демонструючи максимальну продуктивність на добре аерованих, пухких та багатих на органічну речовину субстратах. Стабільно високі параметри врожайності огірка забезпечуються оптимізацією системи живлення шляхом збалансованого сумісного внесення органічних і мінеральних добрив.

За умов рівнинного рельєфу весняний комплекс обробітку ґрунту розпочинається з ранньовесняного боронування у два сліди поперек напрямку осінньої зяблевої оранки з метою ефективного закриття вологи. Подальші етапи передпосівного обробітку диференціюються залежно від поточного структурно-агрегатного стану ґрунту та ступеня забур'яненості поля рослинними залишками. За умови оптимально пухкого стану та низької засміченості обмежуються проведенням однієї передпосівної культивуації в агрегаті з боронами на глибину загортання посівного матеріалу. Під першу культивуацію здійснюють рівномірне внесення розрахункових доз мінеральних добрив, якщо цей захід не був реалізований під час осінньої підготовки поля.

Для інтенсифікації виробництва та оптимізації водоподачі вирощування огірків також переводиться на технологію краплинного зрошення. Сівба (або висаджування розсади) проводиться за стрічковою схемою: просторова відстань між суміжними стрічками становить 1,9 м, між рядками всередині однієї стрічки – 0,5 м, а інтервал між рослинами в рядку дорівнює 0,3 м. За такої геометрії посіву площа живлення однієї рослини становить 0,28 м², що формує оптимальну експлуатаційну щільність насаджень на рівні 35 тис. рослин на гектар (рис. 3.4).

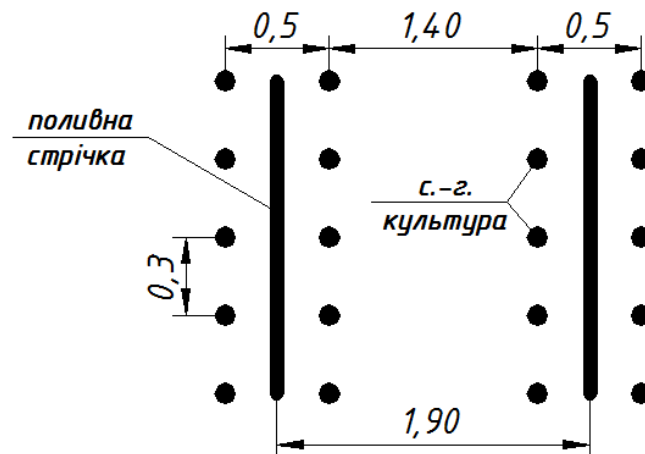


Рисунок 3.4 – Схема посадки огірків

Гідротермічний режим є визначальним чинником для онтогенезу огірка, оскільки ця культура виявляє надзвичайно високу чутливість до дефіциту вологи як у ґрунтовому профілі, так і в приземному шарі атмосфери. Особливо критичними етапами водоспоживання є початкові фази – проростання насіння та поява перших сходів, коли коренева система рослин ще перебуває у стані формування і не здатна поглинати вологу з глибших горизонтів. З огляду на це, монтаж та інженерне розгортання системи краплинного зрошення здійснюється строго до моменту сівби. Це забезпечує технічну можливість проведення своєчасних вегетаційних та провокаційних поливів безпосередньо у посівну зону, що дозволяє оптимізувати показники польової схожості та отримати максимально вирівняні, біологічно стійкі насадження.

Капуста пізня. Ця овочева культура характеризується вираженою гідрофільністю та високим коефіцієнтом водоспоживання, що зумовлює підвищені вимоги до зволоження протягом усього періоду вегетації. Будь-який тривалий дефіцит доступної вологи в кореневмісному шарі ґрунту призводить до глибокого фізіологічного пригнічення рослин, суттєвого гальмування ростових процесів, недорозвиненості асиміляційного апарату і, як наслідок, унеможливорює повноцінне закладання та формування якісних товарних качанів (головок).

У структурі промислового овочівництва пізня капуста посідає одне з провідних місць завдяки своїй високій господарській цінності, тривалому терміну зберігання та значному внутрішньовидовому агротиповому різноманіттю, яке представлене численними високопродуктивними сортами та гетерозисними гібридами вітчизняної та світової селекції.

Для забезпечення стабільного гідрологічного режиму вирощування пізньої капусти на іригаційному масиві інтегрується в систему локального краплинного поливу. Висаджування розсади у відкритий ґрунт реалізується за чітко розрахованою стрічковою схемою: просторова відстань між суміжними технологічними стрічками становить 1,4 м, ширина міжряддя всередині самої стрічки дорівнює 0,5 м, а лінійний крок між рослинами в рядку складає 0,3 м.

Зазначена просторова конфігурація дозволяє забезпечити оптимальну площу живлення для кожного окремого рослинного організму в розмірі 0,28 м². Це мінімізує міжрослинну конкуренцію за світлові та мінеральні ресурси і дозволяє сформувати технологічно обґрунтовану експлуатаційну щільність насаджень на рівні 40 тис. рослин на один гектар площі (рис. 3.5).

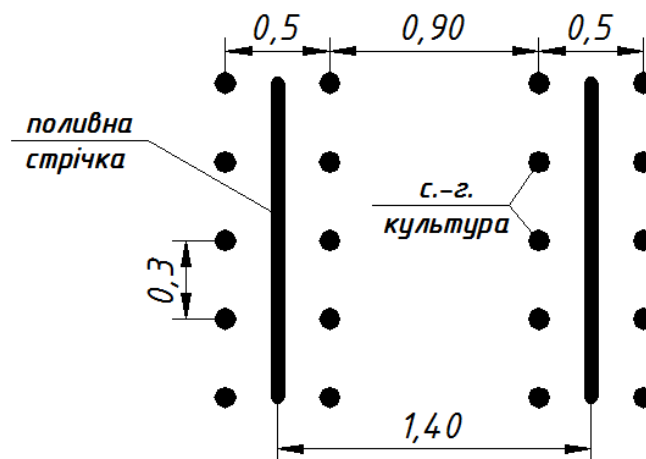


Рисунок 3.5 – Схема посадки капусти

У контексті водоспоживання біологічні особливості пізньої капусти визначають її як одну з найвимогливіших сільськогосподарських культур щодо ступеня зволоження кореневмісного шару ґрунту. Найбільш критичним етапом, який закладає основу майбутньої врожайності, є міжфазний період від

моменту висаджування розсади у відкритий ґрунт до початку масового зав'язування качанів (головок). Для забезпечення безперервного проходження ростових процесів та формування потужної асиміляційної маси, нижній поріг оптимальної вологості ґрунту в цей період повинен суворо контролюватися і підтримуватися на рівні не нижче 75 % від найменшої вологоємності (НВ). Впровадження запроєктованої системи краплинного зрошення забезпечує технічну можливість прецизійного підтримання цього гідрологічного параметра, виключаючи небезпечні для культури коливання вологості та забезпечуючи стабільний органогенез. Комплексне проведення обґрунтованих розрахунків режиму зрошення, а також диференційоване нормування мінерального живлення для запроєктованої кормо-овочевої сівозміни дозволили отримати підсумкові водогосподарські та гідравлічні параметри функціонування меліоративної системи в умовах інтенсивного виробництва. На основі інтегрального аналізу водоспоживання сільськогосподарських культур для умов розрахункового року 75%-ї забезпеченості (посушливі умови) було встановлено такі ключові інженерно-технологічні показники:

- загальний об'єм водоспоживання (сумарна річна потреба всього меліоративного масиву в поливній воді за вегетаційний період) для забезпечення запрограмованого рівня врожайності становить 1 306 810 м³.
- максимальна розрахункова витрата насосної станції підкачки, визначена на основі оптимізації та вирівнювання укомплектованого графіка поливів із метою мінімізації пікових навантажень на систему, складає 250 л/с.
- максимальна ордината гідромодуля системи, яка характеризує граничну питому потребу у витраті води на одиницю площі масиву зрошення в найбільш напружений (дефіцитний) період поливного сезону – 0,62 л/с·га.

Отримані консолідовані дані є фундаментальною вихідною базою для подальшого інженерного проектування внутрішньогосподарської мережі, зокрема для виконання гідравлічних розрахунків закритих розподільчих трубопроводів, підбору запірно-регулюючої арматури та модернізації силового обладнання насосної станції.

3.3. Проектування зрошувальної мережі на ділянці дослідження

Інженерне проектування внутрішньогосподарської зрошувальної мережі, призначеної для забезпечення високоефективного функціонування широкозахватних багатоопорних дощувальних машин типу ДМУ «Фрегат», реалізується виключно у вигляді закритих напірних трубопроводів підземного закладання. Вибір оптимальної просторово-конструктивної схеми трасування та компонування елементів іригаційної мережі є багатофакторною інженерною задачею. Її вирішення безпосередньо залежить від географічного положення та гідродинамічних характеристик джерела водопостачання, геоморфологічних умов (загального рельєфу, мікрорельєфу та наявних похилів поверхні) меліоративного масиву, а також від конструктивно-технологічних параметрів, радіусів дії та специфіки експлуатації обраних типів поливної техніки.

У загальній ієрархічній структурі закрита внутрішньогосподарська зрошувальна мережа об'єднує сукупність таких конструктивних елементів:

- магістральні трубопроводи (водоводи);
- розподільні трубопроводи різних порядків (першого, другого та наступних рівнів);
- кінцеві польові трубопроводи (модульні лінії).

У межах цього дипломного проєкту інженерно-конструкторські розрахунки та просторове моделювання іригаційної інфраструктури обмежені територіальними контурами однієї проєктованої сівозміни. З огляду на це, на генеральному плані масиву виконується трасування та локалізація виключно розподільних трубопроводів першого порядку. Зазначені комунікаційні лінії забезпечують безпосередній водозабір із напірного колектора насосної станції підкачки (НСП) та здійснюють подальший розподіл і транспортування водного потоку під необхідним робочим тиском до відповідних польових ліній.

Свою чергою, планово-просторове розміщення, крок закладання та загальна геометрія польових трубопроводів обґрунтовується технологічними схемами переміщення (круговою чи фронтальною траскторією) та габаритними прольотами дощувальних машин. Графічне відображення просторового розташування, вузлових сполучень та лінійних параметрів елементів трубопровідної мережі у плані наведено на рисунку 2.1.

3.4. Гідравлічний розрахунок параметрів роботи закритої зрошувальної мережі

Розрахункові витрати трубопровідної мережі визначаються кількістю поливної техніки (дощувальних машин та модулів краплинного поливу), що працює одночасно згідно з укомплектованим графіком. Гідравлічний розрахунок ведеться для найбільш напруженого експлуатаційного сценарію: гарантованої подачі води до максимальної кількості установок на найвіддаленіших від насосної станції полях. Поздовжній профіль траси наведено на рисунку 2.2, а результати розрахунків зведено в таблицю 3.6.

На основі визначених витрат на кожній ділянці підбираються оптимальні перерізи труб. Головне інженерне завдання – знайти економічно найвигідніший діаметр. Це дозволяє досягти балансу між капітальними інвестиціями (вартість труб та монтажу) та експлуатаційними витратами (витрати електроенергії насосів на подолання гідравлічного опору).

Економічно найвигідніший діаметр закритих трубопроводів визначається за формулою:

$$d = 1000 \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}, \quad (3.5)$$

За обчисленим діаметром приймаємо найближчий стандартний діаметр трубопроводу і уточнюємо швидкість руху води в ньому:

$$V = 4Q/(\pi d^2_{\text{ст}}), \quad (3.6)$$

Втрати напору визначаємо за формулою

$$h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (3.7)$$

де λ – гідравлічний коефіцієнт тертя, для ПЕ труб приймаємо 0,0185-0,019;

L – довжина трубопроводу на ділянці, м; V – швидкість руху рідини, м/с.

Таблиця 3.6 – Гідравлічний розрахунок трубопроводу

Трубопровід	Ділянка	Довжина, м	Витрата, л/с	Марка труб	Внутрішній діаметр, мм	Швидкість руху води, м/с	Втрати напору, м			Відмітка п'єзометричної лінії на початку ділянки, м
							h_l	h_m	h_w	
1КР	НСП-3	667	244,8	ПЕ	500	1,25	1,1	0,11	1,2	158,5
	3-2	843	163,2	ПЕ	400	1,30	1,8	0,18	2,0	157,3
	2-1	934	81,6	ПЕ	250	1,66	5,3	0,53	5,8	155,3
1КР1	НСП-4	677	275,4	ПЕ	500	1,40	1,4	0,14	1,5	158,5
	4-5	867	183,6	ПЕ	400	1,46	2,4	0,24	2,6	157,0
	5-6	810	91,8	ПЕ	315	1,18	1,8	0,18	2,0	159,6

4. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ПЕРЕОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ

Згідно з метою та завданнями дипломного проєкту, виникає потреба в розробці комплексу інженерних розрахунків та обґрунтуванні відповідних технічних рішень. Вони безпосередньо спрямовані на модернізацію наявних широкозахватних дощувальних машин ДМУ «Фрегат» із метою їх адаптації для підключення та подальшої експлуатації модулів локального краплинного зрошення.

4.1. Підключення стрічки для краплинного поливу до дощувальної машини

На досліджуваній меліорованій ділянці існуюча зрошувальна мережа виконана у вигляді закритих підземних трубопроводів змінного діаметра від 250 до 500 мм, які забезпечують стабільне транспортування водного потоку з витратою 80 л/с під відповідним робочим тиском. Розрахунковий поливний модуль, що обслуговується однією широкозахватною машиною моделі ДМУ-408-80, охоплює площу 64 га та має просторові розміри полів 800×800 м; конструктивна схема цієї дощувальної установки містить 14 опорних візків (рис. 4.1).

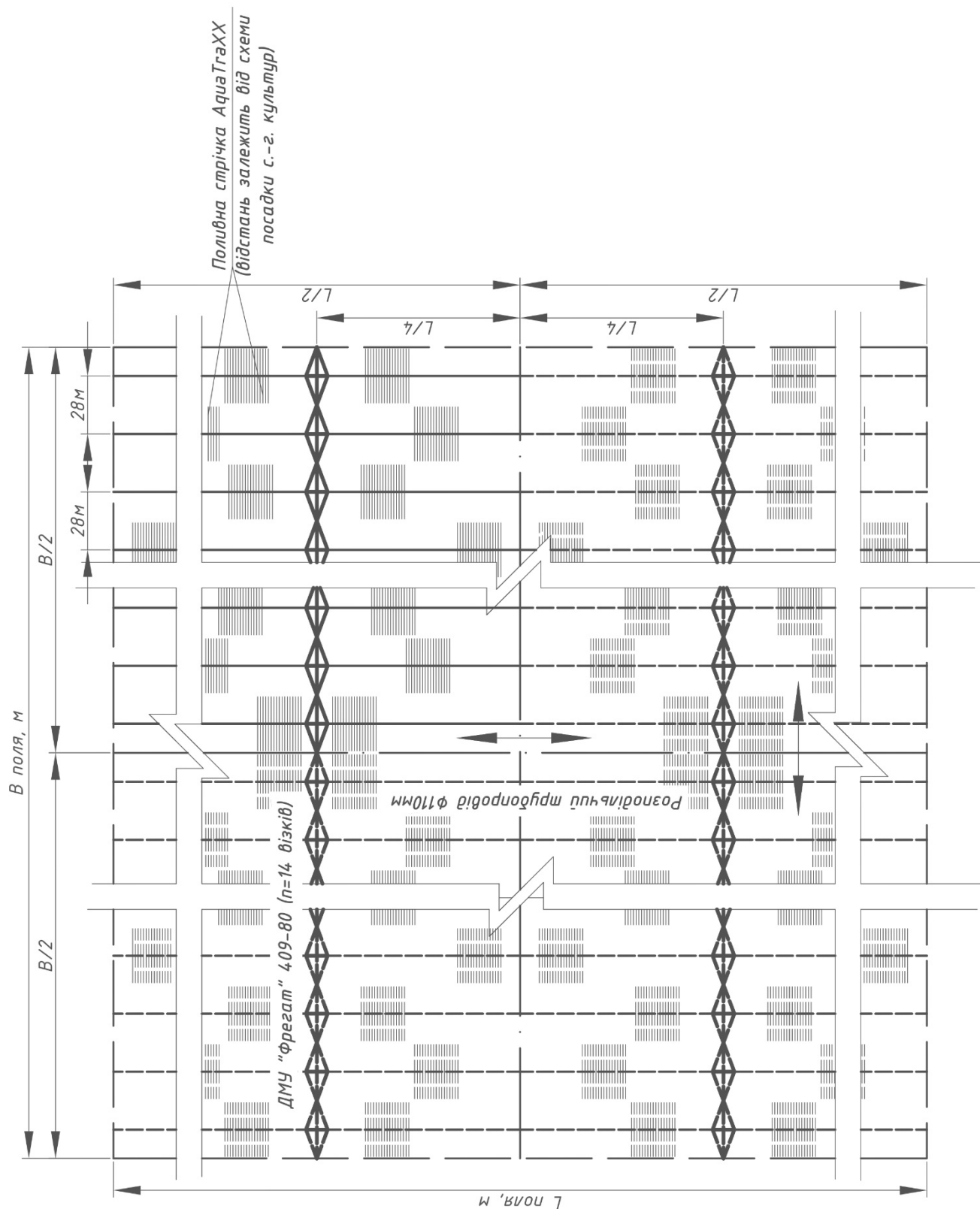


Рисунок 4.1 – Схема розташування інтегрованих ліній для крапельного зрошення овочевих культур

У разі виходу дощувальної техніки з ладу або її значного технічного зносу, раціональним та ресурсощадним вектором модернізації інфраструктури є її конверсія під технологію краплинного зрошення. Таке інженерне рішення дозволяє ефективно використовувати наявні підземні трубопроводи та саму металоконструкцію ферми дощувальної машини як опорно-розподільну основу для подачі поливної води в інтегральні краплинні лінії, розташовані на поверхні поля безпосередньо вздовж рядків рослин. Технічна реалізація проєкту такої реконструкції передбачає обов'язковий монтаж головних фільтраційних станцій (для захисту емітерів від кольматації), розгортання додаткової мережі розподільчих трубопроводів та укладання поливних стрічок.

Для оптимізації іригаційного процесу обрано конструктивну схему, за якої переобладнана дощувальна машина фіксується на чотирьох робочих позиціях на полі (по дві з кожного боку від підземного магістрального трубопроводу). Роль розподільників виконують поліетиленові (ПЕ) труби діаметром 100 мм. За такої просторової орієнтації лінійна довжина кожного розподільчого трубопроводу еквівалентна $\frac{1}{4}$ відстані між опорними візками і становить 200 м. Поліетиленові розподільні лінії підключаються до кожного з 14 візків по центру із симетричним розведенням потоку на обидва боки.

Таким чином, загальна протяжність розподільчих трубопроводів під час роботи меліоративної системи на одній технологічній позиції розраховується за формулою:

$$L_{\text{розпод}} = 14 \cdot 2 \cdot 200 = 5600 \text{ м}$$

Загальна потреба у розподільчому трубопроводі за умови роботи машини на 4^{ох} позиціях складе:

$$\Sigma L_{\text{розпод}} = 5600 \cdot 4 = 22400 \text{ м}$$

Під час проєктування систем локального зрошення для овочевих та просапних культур застосовується технологія укладання інтегральних краплинних ліній через одне міжряддя. Залежно від прийнятої агротехнічної ширини міжрядь (0,6; 0,7 або 0,9 м), просторова відстань між суміжними поливними стрічками становить від 1,2 до 1,8–1,9 м. Крок розташування водовипусків (емітерів) уздовж краплинної лінії підбирається диференційовано, виходячи з біологічних особливостей конкретної культури та номінальної витрати однієї крапельниці.

З метою оптимізації гідравлічних режимів та зниження матеріаломісткості системи, розподільчий трубопровід доцільно конструювати за телескопічною схемою – із послідовним зменшенням діаметра від 150 до 110 мм у напрямку до кінцевих ділянок. Просторовий крок (відстань) між розподільчими трубопроводами чітко регламентується їхньою пропускною здатністю (витратою води), яка безпосередньо визначається допустимим робочим напором у мережі.

Гідродинамічні параметри системи свідчать, що при підтриманні робочого напору на рівні 0,7 МПа сумарна витрата води становить 80 л/с. За таких показників площа одночасного поливу (один технологічний цикл) сягає 16 га, що дозволяє забезпечити загальну добову продуктивність зрошення на рівні 32 га.

Оскільки конструктивна схема переобладнання передбачає паралельне підключення 28 розподільчих трубопроводів, розрахункова витрата води на кожну окрему розподільчу лінію становитиме:

$$Q_{\text{розп}} = 80:28 = 2,86 \text{ л/с}$$

Таким чином отримали, що в поливну лінію одного розподільчого трубопроводу (1 сектор) надходить максимум 2,86 л/с.

Розподільчі трубопроводи до дощувальної машини приєднують за допомогою адаптерів і переходів. На незадіяні водовипуски по довжині машини встановлюють тимчасові заглушки (рис. 4.2).

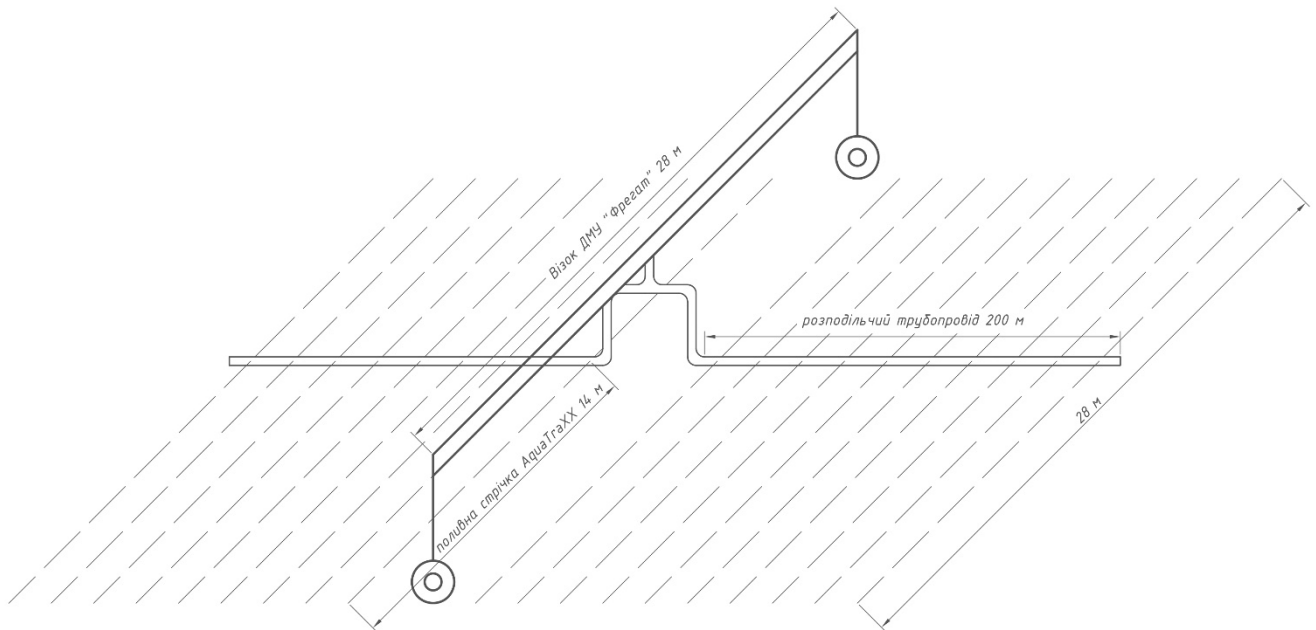


Рисунок 4.2 - Схема підключення крапельної стрічки до візків ДМУ «Фрегат»

4.2. Обґрунтування конструкції очисних комплексів та обладнання для подачі добрив (фертигація)

Сучасний комплекс локального краплинного поливу являє собою складну гідротехнічну інфраструктуру, яка структурно складається з головного водозабірної вузла («голови» системи), магістральних і розподільчих трубопроводів, кінцевих поливних (краплинних) ліній, а також необхідного технологічного обладнання (регуляторів тиску, запірно-регулюючої арматури, повітряних клапанів та промивних вузлів).

Головний фільтраційно-розподільчий вузол. Цей блок є технологічним ядром системи. Його основне функціональне призначення полягає у

безперебійному прийманні води, її комерційному обліку, зниженні тиску до розрахункового експлуатаційного рівня, глибокому очищенні потоку від механічних домішок, а також у підготовці та інжекції поживних розчинів у магістраль. До складу вузла входять:

- фільтрувальна станція;
- блок приготування та дозування підживлювальних речовин (фертигаційний вузол);
- система технологічних трубопроводів, що забезпечує роботу станції;
- акумулюючий бак для приготування та зберігання маточного розчину добрив;
- контрольно-вимірювальна апаратура (водоміри, манометри).

Очищення поливної води реалізується за допомогою станції піщано-гравійних фільтрів (рис. 4.3). У запроєктованій схемі вона складається з трьох паралельно підключених металевих ємностей циліндричної форми зі сферичними днищами, які заповнені спеціальним фільтрувальним матеріалом – фракційним гравієм та кварцовим піском. Конструкція станції забезпечує можливість напірного зворотного промивання фільтрів (після накопичення відфільтрованих частинок на завантаженні) та централізованого відведення брудної промивної води за межі робочої зони.

Повноцінне мінеральне живлення є фундаментальною умовою досягнення високої продуктивності агроценозів. Для безперервної підтримки оптимальної концентрації елементів живлення в ґрунтовому розчині протягом усього періоду вегетації застосовується фертигація – локальне внесення розчинених добрив синхронно із подачею поливної води. Цей метод має низку беззаперечних агрономічних та економічних переваг порівняно з традиційним (суцільним) внесенням:

- висока однорідність розподілу: завдяки повній розчинності препаратів поживні речовини надходять безпосередньо в активну кореневу зону максимально рівномірно.

- точне дозування в часі: удобрювальні поливи чітко синхронізуються з етапами органогенезу, забезпечуючи рослини необхідними елементами у точній кількості.
- ґрунтозахисна функція: відсутність потреби в застосуванні самохідних машин для розкидання добрив запобігає переуцільненню ґрунту важкою технікою.
- фізіологічна безпека: нормована подача слабоконцентрованих поживних розчинів безпосередньо в ґрунт нівелює ризик хімічних опіків листового апарату та коренів.
- екологічність: дробне внесення мікродозами, розрахованими виключно на поточне засвоєння, запобігає гравітаційному вимиванню нітратів за межі кореневмісного шару, що суттєво поліпшує екологічний стан агроландшафтів.
- ресурсоощадність: науково обґрунтована фертигація дозволяє заощадити до 40% мінеральних добрив порівняно з традиційними способами, одночасно збільшуючи врожайність на 20–25% та покращуючи товарну якість продукції.

З технологічної точки зору найвищу ефективність демонструє щоденне внесення добрив низькими нормами (3–15 кг/га) за допомогою спеціалізованих інжекторів або пропорційних дозаторів. Для фертигації використовуються повністю водорозчинні мінеральні комплекси (наприклад, Террафлекс, Кеміра комбі, Кристалон, MEGASOL, FERTICARE, Universol, MadMix, монофосфат калію тощо). З препаратів вітчизняного виробництва відмінну розчинність мають аміачна селітра та карбамід (сечовина). Варто зазначити, що найвищу придатність для удобрювального поливу мають азотні, дещо меншу – калійні добрива. Використання традиційних фосфорних добрив суттєво обмежене через їхню низьку розчинність та ризик хімічної взаємодії із солями жорсткості, що містяться у зрошувальній воді.

Безпосереднє введення маточного розчину мінеральних добрив у зрошувальну магістраль здійснюється за допомогою стаціонарного резервуара

(рис. 4.4), який інтегровано в основну лінію потоку за допомогою системи випускних трубок (байпасів) та регулюючої арматури.



Рисунок 4.3 – Станція підготовки води: піщано-гравійні фільтри

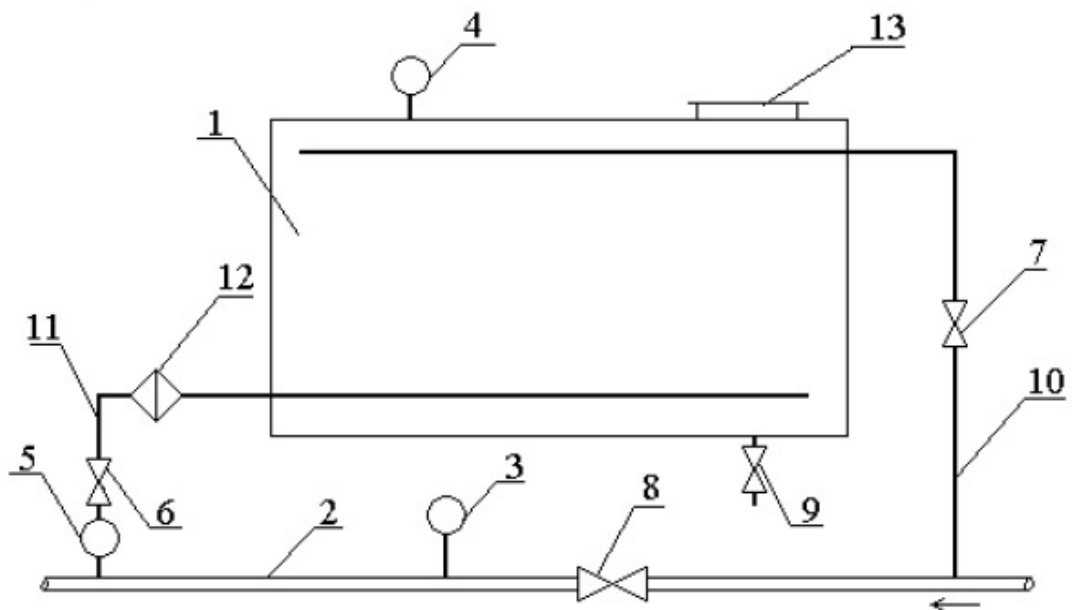


Рисунок 4.4 – Установка з резервуаром для внесення добрив:

- 1 – резервуар об'ємом 600 л; 2 – ділянковий трубопровід; 3, 4 – манометри;
 5 – жиклер; 6, 7, 8 – крани; 9 – зливний кран; 10 - забірна труба;
 11 – випускна труба; 12 – фільтр; 13 – заливний отвір.

4.3. Гідравлічний розрахунок і технічна характеристика переобладнаної системи під краплинне зрошення

Гідравлічні та конструктивні параметри системи локального краплинного зрошення (зокрема, номінальна витрата води, загальна потреба в трубопроводах і поливних стрічках, а також необхідний експлуатаційний тиск) безпосередньо обґрунтовуються прийнятими агротехнічними схемами посадки (або висіву) сільськогосподарських культур.

У межах запроєктованої кормо-овочевої сівозміни технологія краплинного поливу впроваджується для вирощування овочевої групи, до якої входять томати, огірки та пізня капуста. Детальна графічна візуалізація просторового розміщення рослин та інтегральних краплинних ліній відображена на рисунку 4.5.

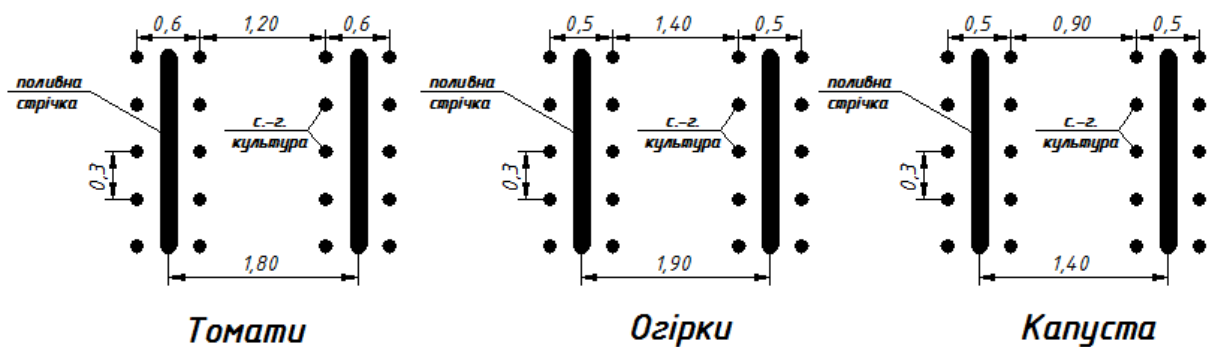


Рисунок 4.5 – Технологічні схеми посадки овочевих культур

Виходячи із затверджених просторових схем посадки, здійснюється поетапне визначення базових гідравлічних параметрів іригаційної мережі. Загальна кількість та сумарна лінійна довжина поливних стрічок розраховуються на основі робочої ширини захвату (яка для розрахункового блоку в умовах даного проєкту становить 400 м) та технологічного кроку (відстані) між укладеними краплинними лініями.

Для забезпечення високої точності моделювання та зручності масштабування, первинний розрахунок матеріаломісткості системи виконується локально – для робочої площі, що обслуговується одним розподільчим трубопроводом (тобто ділянки, що відповідає зоні підключення від одного опорного візка).

Відповідно до обраних схем визначаємо гідравлічні параметри системи.

Кількість і довжина поливних стрічок залежить від ширини захвату (у нашому випадку – 400 м) і відстані між поливними стрічками (схеми посадки). Розрахунок проводимо для одного розподільчого трубопроводу (1^{го} візка). Для томатів:

$$N_{\text{стрічки}} = 400 : 1,8 = 222 \text{ шт};$$

$$\Sigma L_{\text{стрічки}} = 222 \cdot 28 = 6216 \text{ м};$$

Загальна довжина стрічки, при роботі машини на одній позиції складе (28 розподільчих трубопроводів):

$$\Sigma L_{\text{стрічки}} = 6216 \cdot 28 = 174048 \text{ м};$$

Отримавши загальну довжину поливної стрічки на один сектор (1 візок), підбираємо марку стрічки, витрату і відстань між водовипусками.

При витраті одного емітера 0,86 л/год. і відстанню між емітерами 30 см отримаємо:

$$N_{\text{крап}}^{\text{заг}} = 6216 : 0,3 = 20720 \text{ крапельниць}$$

Їх загальна витрата дорівнює:

$$Q_{\text{крап}}^{\text{заг}} = (20720 \cdot 0,86) : 3600 = 4,9 \text{ л/с}$$

Отриманий результат не задовольняє пропуску одним розподільчим трубопроводом, а умова не дотримується, адже $Q_{\text{заг}}^{\text{крап}} > Q_{\text{розп}}$ ($4,9 \text{ л/с} > 2,86 \text{ л/с}$).

Необхідно підібрати іншу стрічку. Вибираємо стрічку з витратою одного емітера $0,57 \text{ л/год.}$ і відстанню між емітерами 40 см , отримаємо:

$$N_{\text{крап}}^{\text{заг}} = 6216 : 0,4 = 15540 \text{ крапельниць}$$

Їх загальна витрата дорівнює:

$$Q_{\text{заг}}^{\text{крап}} = (15540 \cdot 0,57) : 3600 = 2,46 \text{ л/с}$$

Отриманий результат задовольняє пропуск одним розподільчим трубопроводом, адже $Q_{\text{заг}}^{\text{крап}} < Q_{\text{розп}}$ ($2,46 \text{ л/с} < 2,86 \text{ л/с}$).

Отже обираємо стрічку марки AquaTraXX ERA5XX1617 – витрата одного емітера $0,57 \text{ л/год.}$, оптимальний тиск $0,7 \text{ бар}$, діаметр стрічки 16 мм , відстань між емітерами 40 см .

Аналогічним чином проводимо розрахунок і для інших культур.

Підбираємо поливну стрічку для огірків:

$$N_{\text{стрічки}} = 400 : 1,9 = 210 \text{ шт};$$

$$\Sigma L_{\text{стрічки}} = 210 \cdot 28 = 5880 \text{ м};$$

Загальна довжина стрічки, при роботі машини на одній позиції складе (28 розподільчих трубопроводів):

$$\Sigma L_{\text{стрічки}} = 5880 \cdot 28 = 164640 \text{ м};$$

Отримавши загальну довжину поливної стрічки на один сектор (1 візок), підбираємо марку стрічки, витрату і відстань між водовипусками.

Вибираємо стрічку з витратою одного емітера 0,57 л/год. І відстанню між емітерами 40 см, отримаємо:

$$N_{\text{крап}}^{\text{заг}} = 5880:0,4 = 14700 \text{ крапельниць}$$

Їх загальна витрата дорівнює:

$$Q_{\text{крап}}^{\text{заг}} = (14700 \cdot 0,57):3600 = 2,32 \text{ л/с}$$

Отриманий результат задовольняє пропуск одним розподільчим трубопроводом, адже $Q_{\text{крап}}^{\text{заг}} < Q_{\text{розп}}$ ($2,32 \text{ л/с} < 2,86 \text{ л/с}$).

Отже обираємо стрічку марки AquaTraXX ERA5XX1617 – витрата одного емітера 0,57 л/год., оптимальний тиск 0,7 бар, діаметр стрічки 16 мм, відстань між емітерами 40 см.

Розрахунок поливної стрічки для капусти:

$$N_{\text{стрічки}} = 400:1,4 = 286 \text{ шт};$$

$$\Sigma L_{\text{стрічки}} = 286 \cdot 28 = 8008 \text{ м};$$

Загальна довжина стрічки, при роботі машини на одній позиції складе (28 розподільчих трубопроводів):

$$\Sigma L_{\text{стрічки}} = 8008 \cdot 28 = 224224 \text{ м};$$

Отримавши загальну довжину поливної стрічки на один сектор (1 візок), підбираємо марку стрічки, витрату і відстань між водовипусками.

Вибираємо стрічку з витратою одного емітера 0,57 л/год. І відстанню між емітерами 60 см, отримаємо:

$$N_{\text{крап}}^{\text{заг}} = 8008:0,6 = 13347 \text{ крапельниць}$$

Їх загальна витрата дорівнює:

$$Q_{\text{заг}}^{\text{крап}} = (13347 \cdot 0,57):3600 = 2,12 \text{ л/с}$$

Отриманий результат задовольняє пропуск одним розподільчим трубопроводом, адже $Q_{\text{заг}}^{\text{крап}} < Q_{\text{розп}}$ ($2,12 \text{ л/с} < 2,86 \text{ л/с}$).

Отже обираємо стрічку марки AquaTraXX ERA7XX2411 – витрата одного емітера 0,57 л/год., оптимальний тиск 0,7 бар, діаметр стрічки 22 мм, відстань між емітерами 60 см. Всі отримані дані і параметричні розрахунки зводимо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні показники системи крапельного зрошення з інтегрованими лініями при реконструкції зрошувальної мережі

№ з/п	Показник	Культура (ширина міжрядь, м)		
		томати (0,6 м)	огірки (0,5 м)	капуста (0,5 м)
1	Відстань між поливними стрічками, м	1,80	1,90	1,40
2	Відстань між водовипусками, м	0,4	0,4	0,6
3	Витрата одного водовипуску, л/год.	0,57	0,57	0,57
4	Кількість водовипусків, шт/га	13875	13125	11915
5	Довжина стрічок, м/га	5550	5250	7150
6	Площа одночасного поливу, га	16	16	16
7	Загальна довжина розподільчих ліній, м	22400	22400	22400
8	Продуктивність фільтру, л/с	70-80	65-80	60-80
9	Тривалість поливу при нормі 300 м³/га, діб	4	4	4

Підсумовуючи результати проведених інженерно-гідравлічних розрахунків, можна зробити висновок, що конструктивне переобладнання існуючої меліоративної мережі на базі широкозахватних дощувальних машин під технологію локального краплинного зрошення є обґрунтованим та технічно доцільним рішенням. Гідродинамічні параметри наявної інфраструктури повністю корелюють із розрахунковими потребами нової системи. Робочий напір та пропускна здатність (витрата) дощувальної техніки цілком адаптовані до експлуатаційних витрат інтегральних краплинних ліній. Це гарантує гідравлічну стабільність мережі, безперебійність водоподачі та дозволяє максимально ефективно використати вже наявні капітальні споруди для впровадження ресурсоощадних методів поливу.

5. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПЕРЕОСНАЩЕНОЇ СИСТЕМИ ЗРОШЕННЯ НА КОМПОНЕНТИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Метою оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) є визначення доцільності та екологічної прийнятності планової діяльності, а також обґрунтування комплексу економічних, технічних і санітарних заходів для гарантування екологічної безпеки. Вплив переоснащеної системи на компоненти довкілля характеризується масштабом, інтенсивністю, динамічністю та тривалістю.

5.1. Вплив на клімат і мікроклімат території в зоні розташування зрошувального масиву

Клімат території досліджень характеризується як помірно-континентальний: теплий та посушливий. Сума активних температур (вище $+10^{\circ}\text{C}$) становить $3200\text{--}3300^{\circ}\text{C}$. Річна норма опадів коливається в межах $370\text{--}430$ мм, більшість з яких випадає влітку у вигляді інтенсивних злив. Середньорічна температура повітря становить $8,9\text{--}9,4^{\circ}\text{C}$, абсолютний максимум влітку досягає 42°C , мінімум взимку – -33°C . Вітри переважно східного та північно-східного напрямків із середньою швидкістю $3,6\text{--}3,9$ м/с.

Вплив ділянки зрошення на мікроклімат території буде позитивним і має такі параметри:

- масштаб впливу: 399,2 га;
- інтенсивність впливу (кількість води): 430 мм/рік;
- динамічність впливу: у теплий період року;
- тривалість впливу: постійно впродовж усього терміну експлуатації.

5.2. Вплив на ґрунтовий покрив

У ґрунтовому покриві масиву переважають чорноземи звичайні, які характеризуються значними запасами біогенних елементів та специфічним режимом гумусонакопичення. До основних факторів експлуатаційного впливу належать: ризик іригаційної ерозії, ущільнення ґрунту при дощуванні, а також прискорений виніс поживних речовин внаслідок інтенсифікації сільськогосподарського виробництва.

Для мінімізації негативного впливу проектом передбачено оптимізацію поливних норм (впровадження систем краплинного поливу та регулювання інтенсивності дощування до 0,83 мм/хв). Для компенсації втрат родючості передбачено внесення науково обґрунтованих норм мінеральних та органічних добрив (див. табл. 3.6).

Характеристика впливу на ґрунти:

- масштаб впливу: на всій площі зрошення – 399,2 га;
- інтенсивність впливу: N – 109 кг/га; K₂O – 78 кг/га; P₂O₅ – 137 кг/га; перегній – 23 т/га;
- динамічність впливу: внесення під оранку, посів та вегетаційне підживлення;
- тривалість впливу: постійно на весь період експлуатації.

5.3. Оцінка впливу масиву зрошення на поверхневі та підземні водні ресурси

Основним джерелом живлення системи є існуючий водний об'єкт. Вплив на гідрологічне середовище здійснюється через забір води для зрошення та потенційний поверхневий і дренажний стік, що може містити домішки добрив та пестицидів. Для захисту водних ресурсів застосовується комплекс заходів:

- організаційно-господарські: суворе дотримання норм і правил транспортування та внесення добрив, використання дозволених препаратів;
- агротехнічні: застосування оптимальних доз добрив, використання мінімально рухомих форм азоту.
- гідромеліоративні та гідротехнічні: регулювання інтенсивності поливу для недопущення поверхневого стоку, дотримання водоохоронних зон.

Математична оцінка виносу біогенних речовин з поверхневим стоком здійснюється за такими залежностями:

$$\text{Річний винос азоту: } B_N = N_y \cdot K_1 \cdot \omega + N_0 \cdot K_1 \cdot \omega + N_{\text{п}} \cdot \omega + N_{\text{в}} \cdot \gamma \quad (5.1)$$

$$\text{Річний винос фосфору: } B_P = (P_y \cdot K_3 + P_0 \cdot K_4 + P_{\text{п}} \cdot K_5 + P_{\text{в}}) \cdot \omega \quad (5.2)$$

$$\text{Річний винос калію: } B_K = (K_y + K_0 + K_{\text{в}}) \cdot \omega \quad (5.3)$$

Концентрації речовин у стоці розраховуються за формулами:

$$\text{Нітрати та амоній: } C_{\text{NO}_3} = (B_N \cdot 10^6 \cdot \alpha) / W; \quad C_{\text{NH}_4} = (B_N \cdot 10^6 \cdot \beta) / W \quad (5.4)$$

$$\text{Фосфор та калій: } C_P = (B_P \cdot 10^6) / W; \quad C_K = (B_K \cdot 10^6) / W \quad (5.5)$$

Розрахунковий об'єм поверхневого стоку для умов 75% забезпеченості становить $W = 46,6 \text{ м}^3/\text{га}$. Результати розрахунків виносу біогенних речовин зведено до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Об'єм виносу біогенних речовин та їх концентрація у поверхневому стоці

Поле	S, га	N (кг/га)	P (кг/га)	K (кг/га)	NO ₃ (мг/л)	NH ₄ (мг/л)	P (мг/л)
1	63,3	0,431	0,187	1,519	9,265	0,735	1,041
2	56,5	0,370	0,186	1,514	7,965	0,632	1,033
3	56,5	0,370	0,186	1,514	7,965	0,632	1,033
4	76,0	0,442	0,186	1,523	9,509	0,755	1,035
5	73,2	0,443	0,187	1,524	9,535	0,757	1,040
6	73,7	0,442	0,187	1,523	9,509	0,755	1,039
Серед.	-	0,420	0,187	1,520	9,038	0,717	1,037

Щодо впливу на підземні води, можна відзначити, що джерелом їх живлення є інфільтрація атмосферних опадів та зрошувальної води. При функціонуванні системи близько 5–10% поливної води (орієнтовно 110 тис. м³) дренуватиметься у нижні горизонти. Прогнозні розрахунки свідчать, що поступовий підйом рівня ґрунтових вод відбуватиметься з інтенсивністю 0,11 м/рік, що є мінімальним впливом.

Отже, експлуатація переоснащеної зрошувальної системи з дотриманням розрахованих поливних норм та доз внесення мінеральних добрив не чинитиме значного негативного впливу на компоненти навколишнього природного середовища (клімат, ґрунти та водні ресурси).

6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1. Основні положення та принцип роботи органів державного управління і нагляду з питань охорони праці

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» (ст. 37), державне управління охороною праці в Україні здійснюється на кількох рівнях, кожен з яких має чітко визначені обов'язки та повноваження. До органів державного управління належать: Кабінет Міністрів України, Комітет по нагляду за охороною праці (Держнаглядохоронпраці), міністерства та центральні органи виконавчої влади, місцеві державні адміністрації, а також об'єднання підприємств.

- 1) *Кабінет Міністрів України*: забезпечує реалізацію державної політики, визначає функції міністерств щодо створення безпечних умов праці та порядок створення фондів охорони праці.
- 2) *Держнаглядохоронпраці*: здійснює комплексне управління та державний нагляд за додержанням законодавства з безпеки і гігієни праці. Орган проводить експертизу проектної документації, видає дозволи на введення об'єктів в експлуатацію та координує науково-дослідні роботи з охорони праці.
- 3) *Міністерства та центральні органи*: проводять єдину науково-технічну політику в галузі, здійснюють методичне керівництво підприємствами, організовують навчання з охорони праці та фінансують опрацювання нормативних актів.
- 4) *Місцеві державні адміністрації та ради*: забезпечують реалізацію політики на відповідній території, формують регіональні програми

заходів з безпеки праці за участю профспілок, контролюють дотримання нормативних актів.

6.2. Робота системи управління охороною праці на підприємстві

Система управління охороною праці (СУОП) на сучасному агропромисловому підприємстві (на прикладі ФГ «Велес») є цілісною організаційно-технічною структурою, що спрямована на створення безпечних і нешкідливих умов праці, мінімізацію ризиків виробничого травматизму та професійних захворювань. Функціонування СУОП базується на комплексному підході, який поєднує нормативно-правове забезпечення, технічний контроль інфраструктури, безперервне навчання персоналу, а також врахування психофізіологічних факторів під час професійного відбору кадрів.

З огляду на модернізацію іригаційного комплексу та впровадження комбінованої системи (широкозахватного дощування та локального краплинного зрошення), робота СУОП диференціюється за кількома ключовими технологічними напрямками, кожен з яких характеризується специфічними небезпечними та шкідливими виробничими факторами.

Організація безпеки під час експлуатації насосної станції підкачки. Насосна станція підкачки, яка оперує відцентровими агрегатами марки Д200-90 та трансформаторною підстанцією потужністю 630 кВ·А, є об'єктом підвищеної небезпеки. Основними ризиками тут є ураження електричним струмом, механічне травмування рухомими частинами обладнання, високий рівень шуму, вібрації, а також підвищений тиск у напірних колекторах.

У межах СУОП безпека персоналу забезпечується такими заходами:

- електробезпека: постійний моніторинг цілісності контуру захисного заземлення (опір не більше 2,81 Ом) та занулення. Допуск до обслуговування електроустановок мають лише особи зі спеціальною

групою допуску (не нижче III). Робочі місця комплектуються засобами індивідуального та колективного захисту (діелектричні мати, рукавички, інструмент з ізольованими ручками).

- механічна безпека: всі обертові елементи насосних агрегатів (муфти зчеплення, вали електродвигунів) обладнуються суцільними металевими захисними кожухами. Будь-які ремонтні або профілактичні роботи проводяться виключно після повного знеструмлення обладнання та вивішування попереджувальних плакатів («Не вмикати! Працюють люди»).
- виробнича санітарія: для захисту органів слуху від постійного шуму відцентрових насосів персонал забезпечується протишумовими навушниками або берушами. Контрольно-вимірювальні прилади (манометри, вакуумметри) проходять регулярну державну перевірку.

Безпека під час обслуговування та експлуатації дощувальної техніки.

Експлуатація електрифікованих дощувальних машин «Фрегат» пов'язана з ризиками, що виникають при роботі великогабаритних багатоопорних металоконструкцій на відкритому просторі. До небезпечних чинників належать: робота з гнучкими шлангами та гідрантами під високим тиском (до 0.7 МПа), рухомі самохідні опорні візки, карданні вали, системи дизель-генераторів, а також ризик ураження блискавкою під час грози.

Заходи безпеки СУОП у цьому секторі включають:

- контроль руху та сигналізація: перед кожним пуском машини оператор зобов'язаний переконатися у відсутності сторонніх осіб у радіусі дії ферми та подати звуковий сигнал. Системи автоматичного захисту лінійності та захисту від аварійних ситуацій проходять щозмінну перевірку.
- технічне обслуговування: очищення або заміна дощувальних насадок (125 шт. кругової та 28 секторної дії), регулювання колісних редукторів та ремонт прольотів-ферм виконуються лише за повної зупинки машини та вимкненого живлення дизель-генератора. При роботі на висоті (елементи ферми) персонал використовує запобіжні пояси.

- метеорологічні обмеження: під час наближення грози, сильного туману або шквального вітру (понад 15 м/с) експлуатація дощувальних машин негайно припиняється, техніка фіксується у безпечному положенні, а живлення знеструмлюється для запобігання аваріям від атмосферних розрядів.

Охорона праці при роботі з мінеральними добривами (фертигація).

Впровадження системи краплинного зрошення для овочевих культур (томати, огірки, капуста) передбачає щоденне застосування технології фертигації. Робота з концентрованими мінеральними добривами (Террафлекс, Кристалон, аміачна селітра, карбамід тощо) та хімічними засобами захисту рослин несе в собі хімічну небезпеку: ризик гострих отруєнь, хімічних опіків шкіри та слизових оболонок, подразнення дихальних шляхів під час приготування маточних розчинів.

СУОП регламентує такі суворі правила хімічної безпеки:

- засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): персонал, задіяний у завантаженні добрив у стаціонарні резервуари та приготуванні розчинів, обов'язково забезпечується спецодягом (хімічно стійкі комбінезони, гумові чоботи, фартухи), захисними герметичними окулярами, гумовими рукавичками та респіраторами зі спеціальними фільтрами (для захисту від пилу та парів аміаку).
- технологічний процес: заповнення фертигаційного бака та регулювання випускних трубок байпаса здійснюється з дотриманням герметичності з'єднань для унеможливлення витоку концентрованого розчину під тиском. Майданчики для приготування розчинів обладнуються проточною водою для негайного змивання хімічних речовин у разі їх потрапляння на шкіру чи в очі.
- зберігання та гігієна: мінеральні добрива зберігаються у спеціалізованих сухих складах із робочою вентиляцією. На території фертигаційного вузла категорично забороняється прийом їжі, пиття води та паління. Після закінчення зміни працівники проходять повну санітарну обробку.

Психофізіологічний контроль та кадровий менеджмент як елемент СУОП. Невіддільною частиною системи управління є прецизійний професійний відбір. Оскільки обслуговування автоматизованих систем краплинного поливу та керування ДМУ «Фрегат» вимагає високої концентрації уваги, швидкої реакції та стійкості зорово-рухових функцій, СУОП підприємства інтегрує методики психофізіологічного тестування.

Це дозволяє чітко диференціювати персонал: працівники з високим рівнем стійкості уваги та технічним мисленням (тип «Людина-техніка») залучаються до операторської роботи на НСП та ремонту дощувальних машин, тоді як особи з іншими провідними характеристиками розподіляються на менш ризиковані ділянки (агрономічний облік, логістика добрив). Такий підхід мінімізує вплив «людського фактору» на виникнення аварійних ситуацій.

6.3. Обґрунтування параметрів захисного заземлення і занулення на об'єкті дослідження

Основним призначенням захисного заземлення та занулення є захист персоналу від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин обладнання, що можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Захисне заземлення застосовується переважно в мережах з ізольованою нейтраллю (до 1000 В) та понад 1000 В, тоді як занулення застосовується в чотирипровідних мережах напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю.

Для надійного захисту електрообладнання на об'єкті дослідження було виконано комплексне проектування систем занулення та заземлення з урахуванням вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ).

Параметри занулення трансформаторної підстанції. Принцип дії занулення полягає у перетворенні замикання на корпус в однофазне коротке

замикання для швидкого спрацьовування засобів захисту. Згідно з розрахунковими даними струмів короткого замикання, для трансформаторної підстанції потужністю 630 кВ·А обрано алюмінієвий кабель із перерізом нульової жили 6 мм². Як захисний апарат встановлено автоматичний вимикач А3726 на номінальний струм 160 А. Таке рішення гарантує миттєве спрацьовування автоматики та забезпечує безпечну напругу дотику у разі аварії (на рівні не більше 3,2 В).

Параметри захисного заземлення насосної станції (рис. 6.1). Захисне заземлення знижує напругу дотику до безпечних значень шляхом створення малого опору розтікання струму. Виходячи з питомого опору місцевого ґрунту (суглинок) та кліматичних коефіцієнтів, розрахунковий питомий опір склав 140 Ом·м. Згідно з нормами, опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

За результатами проєктування, для заземлення будівлі насосної станції (площею 144 м²) прийнято контур, що складається з 22 вертикальних сталевих стрижнів (довжиною 2 м і діаметром 80 мм). Стрижні з'єднуються між собою горизонтальною сталевією смугою завширшки 5 см. Загальний розрахований опір такого заземлюючого контуру становить 2,81 Ом, що повністю задовольняє нормативні вимоги техніки безпеки.



Рисунок 6.1 – Розрахункова схема заземлення насосної станції

7. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІКИ ПОЛИВУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

7.1. Визначення та порівняння щорічних затрат при удосконаленні техніки поливу на масиві зрошення

Згідно із завданням, проведено економічне обґрунтування доцільності заміни існуючої кормо-зернової сівозміни (зрошення машинами ДМУ «Фрегат») на кормо-овочеву (впровадження систем краплинного поливу для томатів, огірків та капусти на 3-х полях).

Сумарні щорічні витрати на експлуатацію внутрішньогосподарської зрошувальної мережі розраховуються за формулою:

$$BB = A + KP + PP + ЗП + Ел + ПММ + АГР + Ін, \quad (7.1)$$

де А – амортизаційні відрахування; КР, ПР – витрати на капітальний та поточний ремонт; ЗП – заробітна плата експлуатаційного штату (з урахуванням ЄСВ 37%); Ел – витрати на електроенергію; ПММ – паливно-мастильні матеріали (3% від вартості електроенергії); АГР – адміністративно-господарські витрати (25% від фонду оплати праці); Ін – інші витрати (10% від загальної суми).

Витрати на заробітну плату зростають через збільшення штату (з 10 до 21 працівника) у зв'язку з високою трудомісткістю вирощування овочевих культур. Витрати на електроенергію обчислені виходячи із середньозваженої зрошувальної норми: для кормо-зернової – 3200 м³/га, для кормо-овочевої – 3400 м³/га. Питомі витрати на 1 га та собівартість 1 м³ поданої води розраховуються як відношення загальних витрат до площі (399,2 га) та об'єму водоспоживання відповідно. Зведені результати експлуатаційних витрат представлені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Порівняння щорічних витрат на експлуатацію зрошувальної мережі

Статті витрат	До удосконалення (кормо-зернова), грн	Після удосконалення (кормо-овочева), грн
Утримання персоналу (з ЄСВ)	1498000	585000
Амортизаційні відрахування	151000	640000
Капітальний та поточний ремонт	194000	180000
Витрати на електроенергію	3540000	3450000
Паливно-мастильні матеріали	106000	150000
Адміністративно-господарські витрати	372000	210000
Інші витрати	628597	165000
Всього щорічних витрат:	6489597	5380000
Собівартість 1 м ³ води, грн	5,10	6,15

Аналіз витрат показує, що загальні експлуатаційні витрати при впровадженні краплинного зрошення овочевих культур зростають. При цьому собівартість води збільшується з 5,1 грн/м³ до 6,15 грн/м³.

7.2 Розрахунок економічної ефективності удосконалення техніки поливу на масиві зрошення

Економічна ефективність визначається як різниця між отриманим додатковим прибутком та капітальними вкладеннями (табл. 7.2). Впровадження краплинного зрошення забезпечує високу врожайність овочевих культур, що дозволяє покрити витрати у довгостроковій перспективі.

Таблиця 7.2 – Загальна економічна ефективність удосконалення техніки поливу

Показники	До удосконалення	Після удосконалення
Капітальні вкладення, тис. грн.	-	12 850
Вартість валової продукції, тис. грн.	2 920	14 850
Загальні річні витрати, тис. грн.	6 490	5 380
Чистий прибуток, тис. грн.	-3 570	1 680
Рентабельність виробництва, %	-	21,5
Термін окупності, років	-	7,6
Додатковий прибуток, тис. грн.	-	1 416
Економічний ефект, тис. грн.	-	1 250

Проведені розрахунки демонструють, що проект є економічно виправданим. Термін окупності капітальних вкладень у близько 8 років є прийнятним для масштабних інфраструктурних проектів. Рентабельність виробництва на рівні 21,5% підтверджує фінансову стійкість оновленої системи зрошення.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі проведено комплексне обґрунтування технічної та економічної доцільності модернізації зрошувальних систем у ФГ «Велес» (Запорізька обл.) в умовах ліквідації Каховського водосховища. За результатами досліджень встановлено наступне:

1. Технологічна модернізація та інженерні параметри. Обґрунтовано технічну можливість та доцільність переобладнання 6-ти широкозахватних дощувальних машин ДМУ «Фрегат» під інтегральні лінії краплинного зрошення.

- технологічні схеми посадки: для томатів прийнято схему 1,8 м (відстань між стрічками) при кроці емітерів 0,4 м; для огірків – 1,9 м (крок 0,4 м); для капусти – 1,4 м (крок 0,6 м).
- мережа: загальна протяжність розподільчих ліній ПЕ (діаметром 100-110 мм) становить 22 400 м. Розрахункова витрата води на один розподільчий трубопровід (сектор) становить 2,86 л/с при робочому тиску 0,7 МПа.
- обладнання: система включає станцію підготовки води з 3-х піщано-гравійних фільтрів та інжекторний вузол фертигації (резервуар 600 л), що забезпечує рівномірне дозування поживних речовин.

2. Режим зрошення. Для розробленої кормо-овочевої сівозміни (томати, огірки, капуста) забезпечено підтримання вологості ґрунту на рівні 75% НВ.

- водоспоживання: загальний річний об'єм – 1 306 810 м³.
- гідравлічні параметри: максимальна продуктивність насосної станції (насоси Д200-90) – 250 л/с; розрахунковий гідромодуль – 0,62 л/с·га.

3. Екологічна та технічна безпека:

- ОВНС: встановлено, що внесення добрив (N – 109, K₂O – 78, P₂O₅ – 137 кг/га відповідно) при крапельному зрошенні мінімізує вимивання

нітратів. Прогнозний підйом рівня ґрунтових вод становить 0,11 м/рік, що є безпечним для агроценозів.

- електробезпека: для НСП спроектовано контур заземлення (22 вертикальних сталевих стрижні довжиною 2 м), що забезпечує опір 2,81 Ом (норма – не більше 4 Ом).

4. Економічна ефективність. Порівняльний аналіз сівозмін показав високу інвестиційну привабливість проекту:

- собівартість води: збільшилася з 5,1 грн/м³ до 6,15 грн/м³ через ускладнення технології та вартість енергоресурсів.
- капітальні вкладення: 12,85 млн грн (25280 грн/га).
- виробничі показники: вартість валової продукції з 1 га зросла до 29096 грн/га.
- окупність: чистий прибуток становить 1 680 тис. грн/рік при рентабельності виробництва 21,5%. Термін окупності капітальних вкладень – 8 років.

Запропоновані інженерні рішення дозволяють ФГ «Велес» мінімізувати дефіцит водних ресурсів, забезпечити стабільний прибуток завдяки вирощуванню високорентабельних овочевих культур та адаптувати виробництво до нових умов господарювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрокліматичний атлас УСССР. – К.: Урожай, 1964. – 36с.
2. Атлас ґрунтів УСССР. – К.: Урожай, 1979. – 160 с.
3. Григор'єва, Х. А. (2024). Зрошення та продовольча безпека в контексті дефіциту води: правові проблеми та перспективи.
4. Гуленко, О., Калілей, В. (2023). Евапотранспірація та врожайність соняшнику і нуту за краплинного зрошення. *Вісник аграрної науки*, 101(1), 77-82.
5. ДБН В.2.4-1:2009. Меліоративні системи та споруди. Основні положення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 52 с.
6. Дідковська, Л. (2022). Основні тенденції розвитку зрошення: світовий досвід та уроки для України. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*, 1(3), 1-13.
7. Дідковська, Л. І. (2022). Нормативно-правові засади та державна підтримка розвитку зрошуваного землеробства. *Агросвіт*, (9-10), 44-50.
8. Методичні рекомендації до практичних занять з навчальної дисципліни «Водна інженерія та водні технології» Розділ «Розрахунок режимів зрошення сільськогосподарських культур» для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» ОПП «Гідротехніка (водні ресурси)» / В.І. Доценко – Дніпро: ДДАЕУ. – 2021. – 92 с. 13.
9. Методичні рекомендації до практичних робіт з навчальної дисципліни «Водна інженерія та водні технології» Розділ «Розрахунок елементів техніки поливу сільськогосподарських культур» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та

- цивільна інженерія» ОПП «Гідротехніка (водні ресурси)» / В.І. Доценко. – Дніпро: ДДАЕУ. – 2019. – 62 с.
10. Напірні трубопроводи зрошувальних систем і систем водопостачання: ВБН А.3.1-33-2.4-01-99. – Держводгосп України. Київ 1999.
 11. Охорона праці в агропромисловому комплексі: підручник / [А. С. Беліков, К. М. Сухий, А. С. Кобець та ін.]; МОН України; УДУНТ; ДДАЕУ; під заг. ред. засл. діяча науки і техніки України, д.т.н., проф. А. С. Белікова. – Дніпро: Журфонд, 2025. – 644 с.
 12. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями).
 13. Рокочинський А.М. (2014). Основи гідромеліорацій: Навчальний посібник / А.М. Рокочинський, Г.І. Сапсай, В.Г. Муранов, П.І. Мендусь, А.С. Теслюкевич // за ред. проф. А.М. Рокочинського. – Рівне: НУВГП, 2014. – 255 с.
 14. Рокочинський А.М. (2015) Проектування закритих зрошувальних систем: навчальний посібник / А.М. Рокочинський, Ю.І. Гринь, В.І. Доценко, П.І. Мендсь, В.В. Коваленко, С.М. Кропивко, Л.М. Рудаков, А.В. Ткачук // за редакцією проф. А.М. Рокочинського та проф. Ю.І. Гриня. – Рівне: НУВГП – Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2015. – 374 с. 21.
 15. Ромащенко М.І. (2007) Системи краплинного зрошення: навчальний посібник / М.І. Ромащенко, В.І. Доценко, Д.М. Онопрієнко, О.І. Шевелєв // За ред.. академіка УВВН М.І. Ромащенка. – Дніпропетровськ:, 2007– 175 с.
 16. Ромащенко М.І., Балюк С.А. Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення.– К.: Світ, 2000. – 114 с.
 17. Ромащенко, М., & Богаєнко, В. (2024). Математичне моделювання як інструмент досліджень та підтримки прийняття рішень у меліорації. *Вісник аграрної науки*, 102(1), 56-63.
 18. Рубан С.А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України: монографія/С. А. Рубан, М.А.Шинкаревський.–К.: УкрДГРІ, 2005. –572с.

19. Сербов, М. Г., Толмачова, А. В., & Пилип'юк, В. В. (2025). Оптимізація екологічних параметрів меліоративних систем для збереження біорізноманіття агроландшафтів.
20. Системи краплинного зрошення: [навчальний посібник] / М.І. Ромащенко, В.І. Доценко, Д.М. Онопрієнко, О.І Шевелєв - Дніпропетровськ: ООО ПКФ «Оksamит-текст», 2007. – 175с.
21. Склад і зміст матеріалів ОВНС при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. ДБН А 2.2-1-2003
22. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд ДБН А.2.2-1-2003. – К.: Держбуд України, 2004. – 21 с.
23. Технології вирощування овочевих культур при краплинному зрошенні в умовах України / [Ромащенко М. І., Корюненко В. М., Матвієць О. Г. та ін.]; за ред. М. І. Ромащенка. – К.: Укр. ін-т гідротех. і меліор., 2006. – 123 с.
24. Ткачук, А. В., & Ткачук, Т. І. (2022). Оцінка ефективності зрошування при зміні кліматичних умов.