

АНОТАЦІЯ

Хвостенко Світлана В'ячеславівна «Обґрунтування конструкції та режимних параметрів робочих органів пересувного комплексу зрошування».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з агроінженерії за освітньою програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208. Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено конструктивні рішення та режимні параметри робочих органів пересувних зрошувальних комплексів, спрямовані на підвищення ефективності використання водних ресурсів, зменшення енерговитрат та забезпечення рівномірного поливу сільськогосподарських культур. Проаналізовано сучасні системи дощування, рекомендації виробників спринклерних форсунок, методологію проєктування зрошувальних машин та вплив технологічних параметрів на якість зрошення.

Встановлено залежності між діаметром поліетиленового трубопроводу, довжиною подачі води та втратами напору. Визначено, що для труб діаметром 75 мм довжина не повинна перевищувати 200 м при витраті 13 л/с (втрати напору 20 м), а для діаметра 90 мм допускається довжина до 450 м (втрати 18 м). Доведено вирішальний вплив вибору трубопроводу на енергетичну ефективність системи.

Проведено оцінку роботи пересувної установки КОП-1. Встановлено, що при тиску 0,5 МПа та витраті 8,6 л/с середня інтенсивність опадів становить 0,18 мм/хв, коефіцієнт зрошення — 0,21. За витрати 12,9 л/с та швидкості вітру 2,5 м/с інтенсивність опадів становить 0,11 мм/хв, а коефіцієнт зрошення — 0,36. Доведено здатність КОП-1 забезпечувати ефективний полив у різних умовах. Також розглянуто параметри роботи ШБУ-1,5/36, згідно з якими для зменшення енерговитрат максимальна витрата води не повинна перевищувати 1 л/с (труба 32 мм) або 2 л/с (труба 40 мм). За умов тиску 0,35 МПа і витрати 1 л/с ефективний коефіцієнт зрошення становить 0,72.

Проведено техніко-економічний аналіз, який встановив, що капітальні інвестиції у розмірі 230 тис. грн для виготовлення 110 одиниць КОП-1 мають термін окупності 2,2 роки та чистий дисконтований дохід 108 тис. грн. Додатково визначено річну економічну вигоду від застосування консолі для покращення рівномірності поливу у ШБУ — 6,4 тис. грн/га для моркви та 7 тис. грн/га для капусти.

Ключові слова: зрошення, форсунка, трубопровід, дощувальна машина, КОП-1, ШБУ-1,5/36, інтенсивність опадів, ефективність зрошення, енерговитрати, економічна доцільність.

ABSTRACT

Khvostenko Svitlana Viacheslavivna «Substantiation of the Design and Operating Parameters of Working Bodies of a Mobile Irrigation Complex». Qualification work for the degree of Master in Agri-engineering under the educational program “Precision Agriculture Systems” in the specialty 208. Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The qualification work investigates the design solutions and operating parameters of working bodies of mobile irrigation complexes aimed at increasing water-use efficiency, reducing energy consumption, and ensuring uniform irrigation of agricultural crops. The study analyzes modern sprinkler systems, manufacturer recommendations for nozzle diameters, methodological principles of irrigation machine operation, and the influence of technological parameters on irrigation quality.

The study established the relationship between polyethylene pipeline diameter, water delivery length, and head loss. For pipelines with a diameter of 75 mm, the maximum recommended length is 200 m at a flow rate of 13 L/s (head loss 20 m), while for a 90-mm diameter pipe the permissible length reaches 450 m (head loss 18 m). This confirms the significant influence of pipeline diameter on the energy efficiency of irrigation systems.

Performance evaluation of the mobile unit KOP-1 demonstrated that at 0,5 MPa pressure and 8.6 L/s flow, the average rainfall intensity is 0.18 mm/min with an irrigation efficiency coefficient of 0.21. Under 12.9 L/s and wind speed of 2.5 m/s, rainfall intensity reaches 0.11 mm/min, and the efficiency coefficient increases to 0.36. Parameters of the hose-reel unit ShBU-1.5/36 were also analyzed; to minimize energy consumption, maximum flow rates should not exceed 1 L/s (32-mm pipe) or 2 L/s (40-mm pipe). At 0.35 MPa and 1 L/s flow, the irrigation efficiency coefficient reaches 0.72.

Economic analysis showed that capital investments of 230,000 UAH for manufacturing 110 KOP-1 units result in a payback period of 2.2 years and a net discounted income of 108,000 UAH. Annual economic benefits from improved water distribution in ShBU systems amount to 6.4 thousand UAH/ha for carrot cultivation and 7 thousand UAH/ha for cabbage.

Keywords: irrigation, sprinkler nozzle, pipeline, irrigation machine, KOP-1, ShBU-1.5/36, rainfall intensity, irrigation efficiency, energy consumption, economic feasibility.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ	7
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	15
2.1 Теоретичні дослідження параметрів дощувальних насадок	15
2.2 Агротехнічні параметри дощувальних агрегатів	28
2.3 Висновки	36
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
3.1 Аналіз конструкції запропонованих дощувальних машин	39
3.2 Результати моделювання рівномірності розподілу водної маси розроблених машин	43
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	50
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	54
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63
ДОДАТКИ	66

ВСТУП

Сільське господарство є однією з ключових галузей економіки України, що забезпечує продовольчу безпеку держави та формує значну частку експорту. У сучасних умовах, коли кліматичні зміни спричиняють зростання посушливості та нерівномірність випадання опадів, особливого значення набуває впровадження ефективних систем зрошування. В Україні близько 60 % орних земель розташовані у зонах ризикованого землеробства, де стабільність врожаю залежить від своєчасного та раціонального зволоження ґрунту. Тому розвиток та удосконалення зрошувальних технологій є надзвичайно актуальним завданням.

Пересувні комплекси зрошування, завдяки мобільності та універсальності, знаходять все ширше застосування у сільськогосподарському виробництві. Вони забезпечують можливість поливу різних культур на значних площах із мінімальними затратами часу та енергії. Водночас ефективність їх роботи значною мірою визначається конструкцією та режимними параметрами робочих органів, що здійснюють розподіл води. Невідповідність цих параметрів агротехнічним вимогам може призвести до перевитрат водних ресурсів, нерівномірності поливу та зниження врожайності.

В умовах України питання раціонального використання води набуває особливої ваги. Водні ресурси країни є обмеженими, а їх нераціональне використання може створювати екологічні ризики. Тому важливим завданням сучасної агроінженерії є пошук оптимальних рішень щодо конструкції робочих органів пересувних зрошувальних комплексів, які б забезпечували рівномірний розподіл води, енергоефективність та збереження родючості ґрунтів.

Таким чином, дослідження конструктивних особливостей та обґрунтування режимних параметрів робочих органів пересувного комплексу зрошування є актуальним науково-практичним завданням. Його вирішення сприятиме підвищенню ефективності використання водних ресурсів, забезпеченню стабільних урожаїв та розвитку сталого землеробства в Україні.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

Реалізація аграрних реформ призвела до зміни пріоритетів землекористувачів. Це зрушення спричинило збільшення кількості землекористувачів, але зменшення площі сільськогосподарських угідь, які обслуговує кожен користувач. Нині в Україні налічується понад 80 тис. землекористувачів, які разом володіють приблизно 2 млн га зрошуваних земель. В середньому на кожного землекористувача припадає 26,9 га. Наявні в країні зрошувальні системи здатні забезпечити водою посіви на площі 1,5 млн га. Однак поточного запасу спринклерів недостатньо для зрошення всієї цієї землі. На даний момент існує потреба в 20 тис. одиниць різних типів спринклерів, а в робочому стані лише 4 тис. одиниць. На жаль, в Україні немає виробників вітчизняної спринклерної техніки, а вартість іноземної техніки значна. Основним обладнанням для зрошення за кордоном є дизельні та дизель-електричні агрегати, але вони також дорогі та вимагають великих витрат палива під час роботи.

Експлуатація різноманітних типів зрошувальної техніки на існуючих зрошувальних системах в Україні показує, що при вирощуванні сільськогосподарських культур вирішальне значення для продуктивної реалізації мають витрати енергії на зрошення та витрати паливно-мастильних матеріалів. Таким чином, обов'язковим є вибір зрошувальної техніки, яка має мати широкий спектр модифікацій, адаптованих до конкретних регіонів поля та сільськогосподарських культур. Цей процес відбору повинен враховувати унікальні умови управління даною територією.

Важливість і актуальність розвитку вітчизняних мобільних способів зрошення, таких як мобільні дощувальні машини та відповідні їм робочі органи, а також зрошувальне обладнання, що використовується для водопостачання та водорозподілу невеликих фермерських господарств, які переважно вирощують

овочеві та плодові культури та можуть використовувати існуючі системи зрошення, не можуть бути завищеним.

В Україні останнім часом спостерігається наплив іноземного спринклерного обладнання з різним споживанням води та можливостями тиску. Отже, існує потреба у всебічному аналізі вартісних характеристик насосних станцій, які можуть задовольнити потреби у водопостачанні цих мобільних спринклерів та установок.

Під час сезонного зрошення площ до 30 га найбільш поширеним способом водопостачання спринклерних систем і установок є мобільні насосні станції та мотопомпи. На відміну від стаціонарних насосних станцій, ці системи забезпечують мобільність, дозволяючи використовувати на багатьох зрошуваних ділянках і зберігати в закритих приміщеннях протягом зимових місяців. Крім того, ці системи оснащені двигуном внутрішнього згоряння, який дозволяє регулювати оберти. Цей контроль дозволяє регулювати характеристики споживання мотопомпи шляхом зміни кількості обертів робочого колеса насоса.

Вибір моторизованих насосів є вирішальним рішенням для систем водопостачання, оскільки воно безпосередньо впливає на надійність обладнання та енергоспоживання. Для встановлення зв'язку між типом спринклерної техніки та насосною силовою технікою необхідно ретельно продумати режим роботи мотонасоса. Це питання було виділено як основну проблему в процесі відбору, як зазначено в попередніх дослідженнях [1].

В Україні для зрошення широко використовуються мотопомпи, як вітчизняного, так і іноземного виробництва. Серед мотопомп іноземного виробництва на ринку домінують японська компанія HONDA та італійські виробники IVECO та LAMBORDINI (як зазначено в табл. 1.1). Мотопомпи HONDA можуть похвалитися споживанням води від 2,2 до 18,3 літрів за секунду з відповідним робочим тиском від 36 до 28 метрів. І навпаки, споживання води мотопомпи IVECO CS-M100DS становить від 20 до 66,7 літрів на секунду з

відповідним робочим тиском, який коливається від 71 до 59 метрів (як показано на малюнку 1.1).

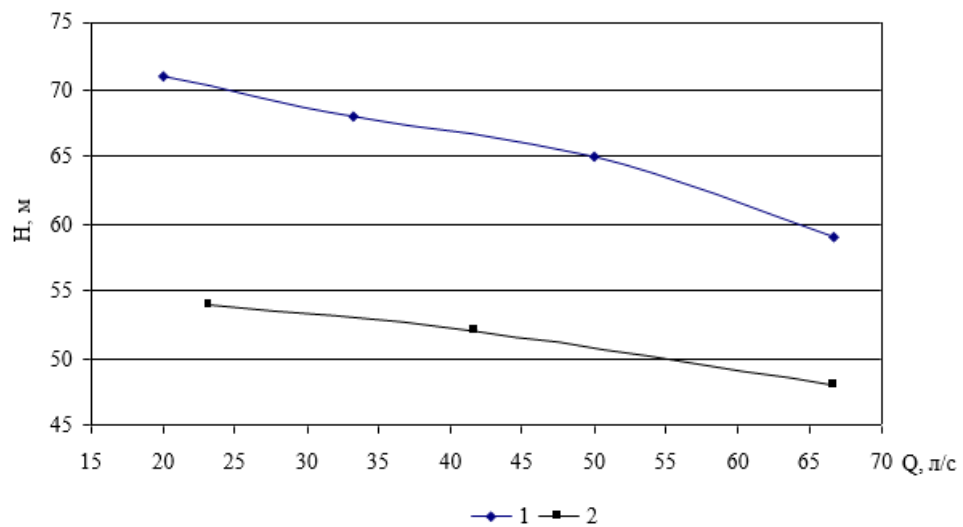


Рисунок 1.1 - Розхідна характеристика мото-помп фірми IVECO: 1) CS-M100DS; 2) CS-M12531 CCS.

Потужність двигуна коливається від 49 до 68 кінських сил, при цьому витрата палива знаходиться в межах 8,5-11,8 літрів на годину. Цей тип мотопомпи дуже універсальний і може використовуватися для подачі води в шланговий барабанний спринклер, оснащений потужним спринклером великої дії. Спринклерна система має вражаючу витрату води 20-25 літрів на секунду, робочий тиск не повинен перевищувати 0,7 мегапаскалів.

Коли шлангово-котушкова установка оснащена консоллю, яка має спринклерні форсунки з коротким потоком і підтримує витрату 25-30 літрів в секунду, а також підтримує робочий тиск не вище 0.5 мегапаскалів, він піддається оснащенню мотопомпою IVECO типу CS-M12531 CCS.

Доведено, що мотопомпи LAMBORDINI ефективно забезпечують водопостачання спринклерів з робочим тиском, що не перевищує 0,4 МПа, і витратою від 10 до 15 л/с, як показано на малюнку 1.2. Як зазначено в таблиці 1.1, середня витрата палива цим обладнанням становить 2,2 л/год, що вважається високоефективним.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики мото-помп виробництва закордонних фірм

Тип мотопомп	Витрата води, л/с	Напір води, м	Потужність двигуна, к.с. (кВт)	Витрата пального, л/год	Умовний об'єм поданої води, м ³ /л
HONDA WX 10 (Японія)	2,2	36	1,5 (1,1)	0,65	12,2
HONDA WX 15 (Японія)	4,0	40	2,5 (1,8)	1,2	12
HONDA WX 20 (Японія)	10,0	32	4,0 (2,9)	1,5	24
HONDA WX 30 (Японія)	18,3	28	5,5 (4,0)	2,0	33
IVECO CS-M100DS (Італія)	20,0	71	49	8,5	8,4
	33,3	68	56	9,7	12,3
	50,0	65	65	11,2	16,0
	66,7	59	68	11,8	20,3
IVECO CS-M12531CCS (Італія)	23,3	54	36	6,2	13,5
	41,7	52	48	8,3	18,1
	66,7	48	56	9,7	24,7
	111,1	22	63	10,9	36,7
LOMBARDINI 25LD 330-2 (Італія)	2,7	52	7,2	1,4	6,9
	5,8	49	9,3	1,8	11,6
	11,7	41,5	12	2,3	18,3
	16,7	26	14	2,7	22,2
LOMBARDINI 9LD 626-2 (Італія)	8,3	43	9,2	1,7	17,5
	15,0	41	12	2,2	24,5
	23,3	32	15	2,8	29,9
	30,0	23	16,8	3,1	34,8
BAUER BMS-100 (Австрія)	30-35	40	(33)	4,55	23,7

Більшість мотопомп вітчизняного виробництва представлені у вигляді мобільних насосних станцій різних модифікацій, поряд з мотопомпою МП-800Б. Останній оснащений двигуном, який доступний у конфігурації з одним або двома циліндрами, як показано в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики мото-помп виробництва вітчизняних компаній

Тип мотопомп	Витрата води, л/с	Напір води, м	Потужність двигуна, к.с. (кВт)	Витрата пального, л/год	Умовний об'єм поданої води, м ³ /л
МП-800Б одноциліндрова	10	40	(8,0)	4,5	8
двоциліндрова	13	60	(14,7)	8,8	5,3
СНП-25/60А	25-43	72-45	40 (29,4)	4,6	19,5
СНП-50/40А	50-60	45-42	54	5,1	35,3
СНП-50/80	50-120	45-30	90	8,1	22,2

Насосна станція СНП-25/60А складається з відцентрового насоса 4К-6, який з'єднується з дизельним двигуном Д-37М потужністю 40 кінських сил. Насос з'єднаний з двигуном через зчеплення і коробку передач і встановлений на рамі шиберного типу. Всмоктуючий трубопровід насоса складається з гнучкого трубопроводу діаметром 125 мм і довжиною 8 м. Насосна станція СНП-25/60А має можливість подачі води на спринклери та установки, де потрібна витрата не більше 43 л/с, з максимальним робочим напором 45 м при цій витраті (рис. 1.3).

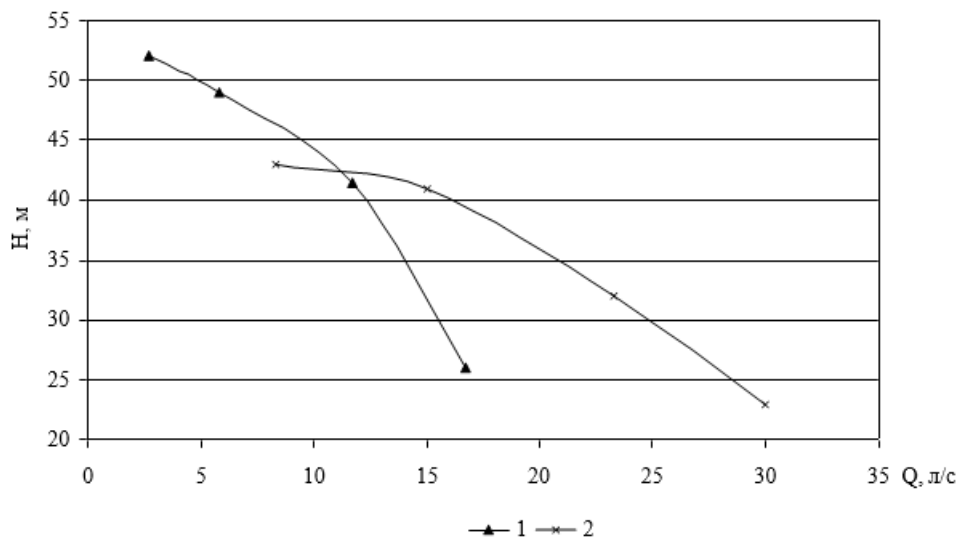


Рисунок 1.2 - Розхідна характеристика мото-помп компанії LOMBARDINI: 1) 25LD 3302; 2) 9LD 6262.

Насосна станція СНП-50/40А складається з двигуна Д-54А потужністю 54 кінських сили, а також насоса 6НДВ-60, який встановлений на загальній рамі-

полозці. Всмоктуючий трубопровід насоса являє собою прогумований шланг, який має діаметр 200 міліметрів і довжину 8 метрів. Дана модель насосної станції SNP-50/40А здатна подавати воду до спринклерів та інших установок, які вимагають витрату води не більше 60 літрів за секунду та максимальний робочий тиск 42 метри при такій швидкості потоку. (як показано на малюнку 1.3). Насосна станція СНП-50/80 укомплектована дизельним двигуном А-41Б потужністю до 90 кінських сил і відцентровим насосом 8М-9, встановленим на одновісному причепі. SNP-50/80 здатний досягти робочого тиску 70 метрів із витратою 50 літрів за секунду (як показано на малюнку 1.3) [2, 3].

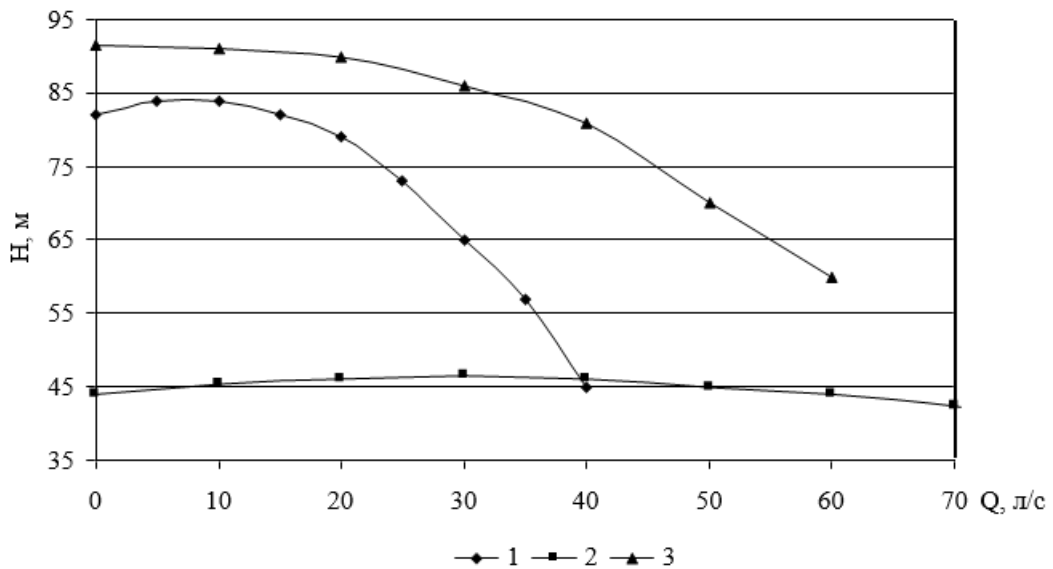


Рисунок 1.3 - Розхідна характеристика мото-помп виробництва вітчизняних компаній: 1) СНП-25/60А; 2) СНП-50/40А; 3) СНП-50/80.

При роботі мотопомпи МП-800Б при напорі 40 м і споживанні води 10 л/с її витрата палива одноциліндровим двигуном потужністю 8 кВт становить 4,5 л/год. З іншого боку, коли мотопомпа оснащена двоциліндровим двигуном потужністю 14,7 кВт, який працює під тиском 60 м при споживанні води 13 л/с, вимірюється витрата палива, складати 8,8 л/год. Важливо зазначити, що ці значення були отримані за допомогою наукових і стандартизованих методів.

Використання різного роду зрошувального обладнання на вже існуючих зрошувальних системах в Україні показало, що при вирощуванні

сільськогосподарських культур витрати енергії на зрошення та закупівля паливно-мастильних матеріалів є вирішальними для досягнення оптимального використання. З цієї причини необхідно ретельно підбирати іригаційне обладнання, яке пропонує широкий спектр модифікацій, призначених для конкретних регіонів поля та посівів, враховуючи при цьому унікальні умови господарювання.

Для того, щоб визначити найбільш економічно ефективну мотопомпу, необхідно взяти до уваги низку параметрів. Ці параметри включають об'єм споживаної води за секунду (вимірюється в літрах на секунду), робочий напір (вимірюється в метрах) і питома витрата палива (вимірюється в літрах на годину). Слід зазначити, що потужність мотопомпи залежить від тиску води, а отже, і від кількості споживаного палива. Крім того, використання систем високого тиску вимагає використання товстостінних поліетиленових трубопроводів або міцних гнучких шлангів, що може бути досить дорогим.

У сучасний час спринклерні системи широкого спектру дії оптимально функціонують при робочому тиску в межах 30-35 м. І навпаки, тиск на насосній станції оцінюється в межах 40-60 м. Отже, беручи до уваги ці параметри тиску, розумно зробити висновок, що тиск, що виходить з виходу мотопомпи, повинен входити до вищезгаданого діапазону 40-60 м.

Кількісне визначення споживання мотопомпи вимагає ретельного розгляду різних факторів, таких як сезонні вимоги до зрошення в регіоні та продуктивність спринклера.

Для забезпечення достатнього зрошення площі в середньому 30 га і максимального гідромодуля 1 л/(с·га) мобільна спринклерна установка повинна мати витрату води не менше 30 л/с.

Визначення умовного об'єму води q , що подається мотопомпою при споживанні 1 л палива, досягається за формулою:

$$q = \frac{3,6 \cdot Q}{P}, \text{ м}^3/\text{л}, \quad (1.1)$$

У таблицях 1.1 і 1.2 представлені результати розрахунків q . Дані підтверджують, що мотопомпи з більшою потужністю демонструють більший умовний об'єм подачі на одиницю палива. Тому ці насоси доцільно використовувати при забезпеченні водою двох-трьох спринклерів або однієї установки з підвищеним водоспоживанням.

Висновки

Ознайомившись із спринклерним обладнанням, можна помітити, що в зарубіжній сільськогосподарській практиці стрічкові шланги та розбірні портативні спринклери зазвичай використовуються для зрошення різноманітних культур на невеликих ділянках землі та полях зі складним плануванням.

В Україні продемонстровано ефективність вирощування сільськогосподарських культур на територіях з недостатнім зволоженням та можливість підвищення виробництва, економічних показників і загальної стабільності сільського господарства шляхом впровадження зрошувальних меліорацій. Проте площа зрошуваних земель з 2000 року скорочується внаслідок економічної кризи. Крім того, ефективність роботи існуючих меліоративних систем є недостатньою, не відповідає сучасним стандартам енергоспоживання та екологічної безпеки.

Проведено дослідження первинних напороспоживаючих властивостей пересувних джерел електроенергії з метою використання цих джерел для водопостачання малогабаритних зрошувальних механізмів з мінімальними витратами палива.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теоретичні дослідження параметрів дощувальних насадок

Щоб мінімізувати витрати енергії, необхідні для створення штучного дощу, останнім часом відбувся зсув у бік використання спринклерних форсунок з коротким струменем на широких і мобільних спринклерах. Ця модифікація забезпечує більшу рівномірність розподілу дощу по площі зрошення. Перевага цих насадок полягає в їх нескладній конструкції та процесі виробництва. На даний момент найчастіше використовуються спринклерні машини «Кубань» і моделі «Фрігат» низького тиску, які продемонстрували високу продуктивність своїх робочих компонентів. За кордоном круглі форсунки з коротким потоком використовуються на фронтальних спринклерних машинах для оптимізації розподілу штучного дощу. Ці форсунки мають меншу інтенсивність, ніж форсунки секторної дії, але ефективно підвищують рівномірність розсіювання дощу.

Щоб визначити найбільш відповідні форсунки для використання на мобільних спринклерах в діапазоні тиску 0,10-0,30 МПа, ми провели дослідження для визначення параметрів опадів короткострумевих кругових спринклерних форсунок. В Інституті гідротехніки і меліорації (ІГМ АН УРСР) розроблені короткострумкові форсунки кругової дії, які згодом виготовлялися з поліетилену низького тиску на дослідних заводах ІГМ АН УРСР і «Техносервіс». ТОВ (Мелітополь). Ці форсунки складаються з основи (1) і дефлектора (2), як показано на малюнку 2.1.

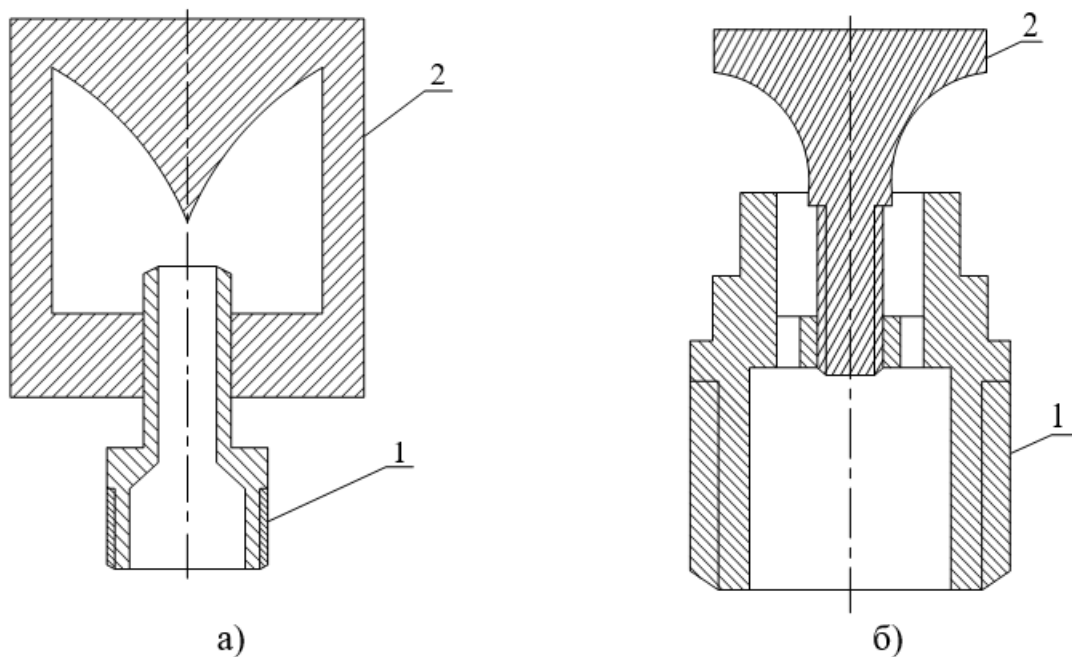


Рисунок 2.1 - Дощувальні насадки кругової дії:

а) ІГіМ УААН, б) ТОВ „Техносервіс”, 1) основа, 2) дефлектор.

Маніпулювання дефлектором дозволяє змінювати розміри кільцевого отвору, діаметр конічної частини та загальний діаметр отвору форсунки. Так, стандартний діаметр отвору форсунки, виготовленої ІГіМ УААН (форсунка 1), коливається в межах від 7,55 до 10,58 мм. У порівнянні з цим, насадки ТОВ «Техносервіс» (насадка 2) мають ширший діапазон — від 7,09 до 14,28 мм (див. табл. 2.1). Крім того, ширина кільцевого зазору для форсунки 1 може змінюватися від 1,5 до 4,0 мм, тоді як для форсунки 2 цей показник коливається від 0,65 до 3,0 мм.

Таблиця 2.1 - Розрахунок діаметру (умовного) отвору насадок, виготовлених ІГіМ УААН та ТОВ "Техносервіс"

Оберти	Ширина кільцевого отвору, мм		Площа кільцевого отвору, мм ²		Умовний діаметр отвору насадки, мм	
	ІГіМ	Техносервіс	ІГіМ	Техносервіс	ІГіМ	Техносервіс
1	1,5	0,65	44,74	39,5	7,55	7,09
2	2,5	1,25	66,72	73,6	9,22	9,68
3	3,4	1,65	81,14	95,1	10,17	11,00
4	3,8	2,0	85,91	113,0	10,46	12,00
5	4,0	2,3	87,92	127,8	10,58	12,76
6	4,0	2,6	87,92	142,1	10,58	13,45
7	4,0	2,8	87,92	151,2	10,58	13,88
8	4,0	3,0	87,92	160,1	10,58	14,28

Дослідження, проведені на лабораторній апаратурі, дали дані про споживчі характеристики спринклерних форсунок. Дані були зібрані шляхом зміни робочого тиску від 0,05 до 0,30 МПа і представлені в таблицях 2.2 і 2.3, а також на рис. 2.2 та 2.3.

Таблиця 2.2 - Розхідна характеристика робочого органу ІГіМ УААН залежно від умовного діаметру отвору й тиску

Тиск, МПа	Умовний діаметр отвору, мм				
	7,55	9,22	10,17	10,46	10,58
	Витрата насадки, л/с				
0,05	0,303	0,557	0,694	0,725	0,784
0,10	0,423	0,783	0,970	1,056	1,108
0,15	0,526	0,971	1,193	1,30	1,358
0,20	0,611	1,118	1,370	1,520	1,602
0,25	0,676	1,248	1,523	1,708	1,802
0,30	0,746	1,369	1,662	1,873	1,994

Як показано в таблиці 2.2 і малюнку 2.2, збільшення стандартного діаметра отвору та робочого тиску призводить до відповідного збільшення швидкості потоку спринклерної форсунки 1 з 0,303 до 1,993 літрів на секунду.

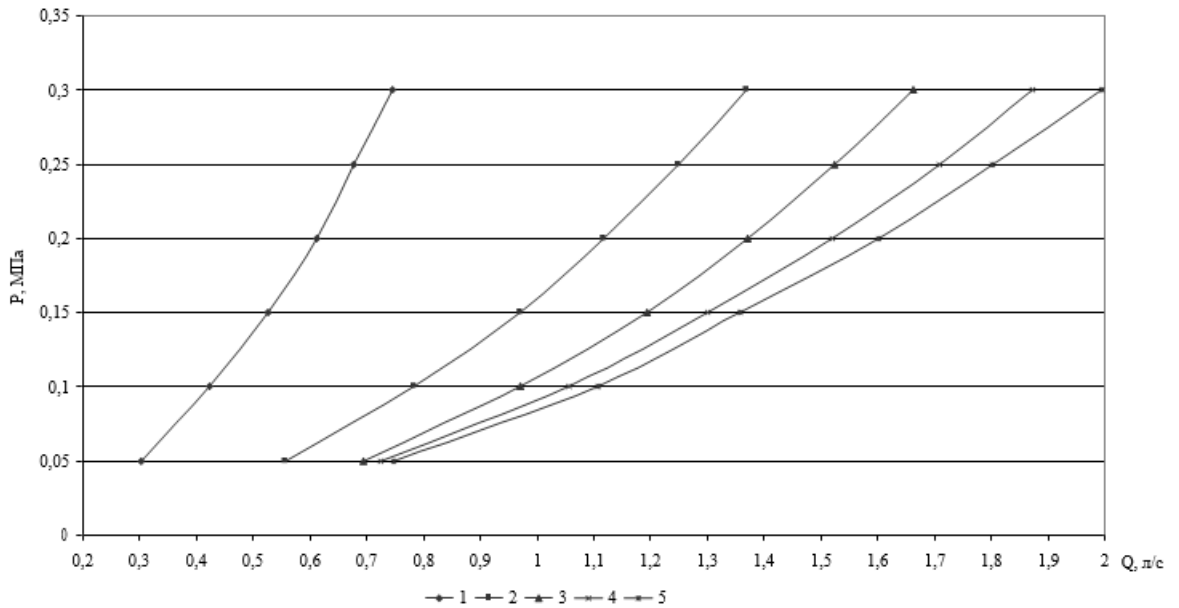


Рисунок 2.2 – Прогресія затрат води Q коротко-струминної насадки ПГіМ УААН від тиску P :

1 – умовний діаметр насадки 7,55 мм; 2 – 9,22 мм; 3 – 10,17 мм; 4 – 10,46 мм; 5 – 10,58 мм.

Зі збільшенням робочого тиску збільшується і витрата спринклерної форсунки 2, яка має умовний діаметр отвору 7,09, 9,68, 11,00, 12,00, 12,76 і 13,45 мм.

Відповідно до таблиці 2.3 та рисунку 2.3 об’ємна витрата коливається від 0,316 л/с до 2,0 л/с.

При спостереженні за спринклерною форсункою було виявлено, що форсунка 2, оснащена звичайним діаметром отвору 13,88 або 14,28 мм, зазнала збільшення витрати до 1,613 і 1,614 л/с відповідно при підвищенні робочого тиску до 0,2 МПа. При підвищенні робочого тиску до 0,3 МПа витрата сопла з умовним діаметром 14,28 мм виявилася меншою порівняно з витратою сопла, що має умовний діаметр 13,88 мм. Зокрема, витрати першого сопла становили 1,985 та 1,99 л/с відповідно (див. табл. 2.3 та рис. 2.3).

Таблиця 2.3 – Затратна характеристика робочого органу ТОВ “Техносервіс” залежно від умовного діаметру отвору й тиску

Тиск, МПа	Умовний діаметр отвору, мм							
	7,09	9,68	11,00	12,00	12,76	13,45	13,88	14,28
	Витрата насадки, л/с							
0,05	0,316	0,565	0,678	0,747	0,758	0,765	0,779	0,794
0,10	0,455	0,824	1,013	1,074	1,110	1,127	1,135	1,150
0,15	0,569	1,003	1,231	1,312	1,355	1,370	1,377	1,382
0,20	0,662	1,174	1,452	1,525	1,589	1,612	1,613	1,614
0,25	0,745	1,315	1,645	1,710	1,790	1,815	1,811	1,810
0,30	0,821	1,450	1,812	1,873	1,969	2,000	1,990	1,985

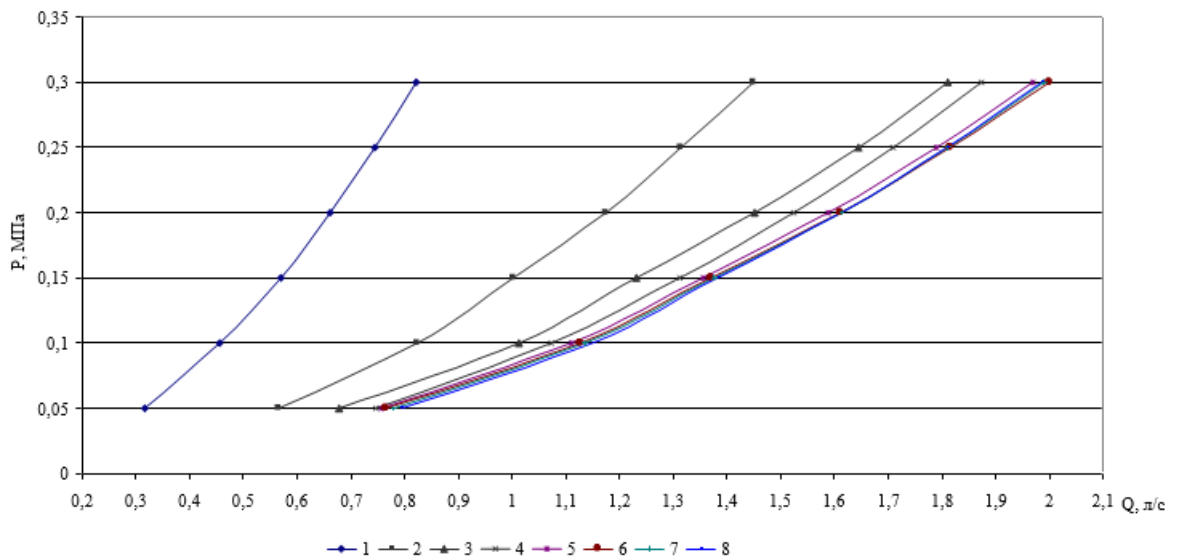


Рисунок 2.3 - Прогресія затрат води Q коротко-струминної насадки ІГІМ УААН від тиску P :

1 – умовний діаметр насадки 7,09 мм; 2 – 9,68 мм; 3 – 11,00 мм; 4 – 12,00 мм; 5 – 12,76 мм; 6 – 13,45 мм; 7 – 13,88 мм; 8 – 14,28 мм.

Подальші дослідження показали, що коефіцієнт споживання μ спринклерної форсунки 1 змінюється залежно від умовного діаметра отвору та тиску в межах 0,05–0,3 МПа (див. рис. 2.4). Аналіз цих змін виявив, що мінімальне значення μ (0,676) відповідає соплу з умовним діаметром 7,55 мм при тиску 0,10 МПа, тоді як максимальне значення μ (0,935) досягається для сопла з діаметром 10,58 мм при тиску 0,30 МПа. Варто зазначити, що збільшення номінального діаметра отвору форсунки до 9,22 мм призводить до зростання

витрат у всьому діапазоні робочих тисків. Проте в межах стандартного діаметра 9,22–10,46 мм коефіцієнт залишається відносно стабільним і коливається між 0,837 та 0,898. Цікаво, що подальше збільшення діаметра до 10,58 мм практично не впливає на витрату при тиску 0,05 МПа ($\mu = 0,859$), тоді як у діапазоні 0,10–0,30 МПа спостерігається стабільне збільшення швидкості потоку.

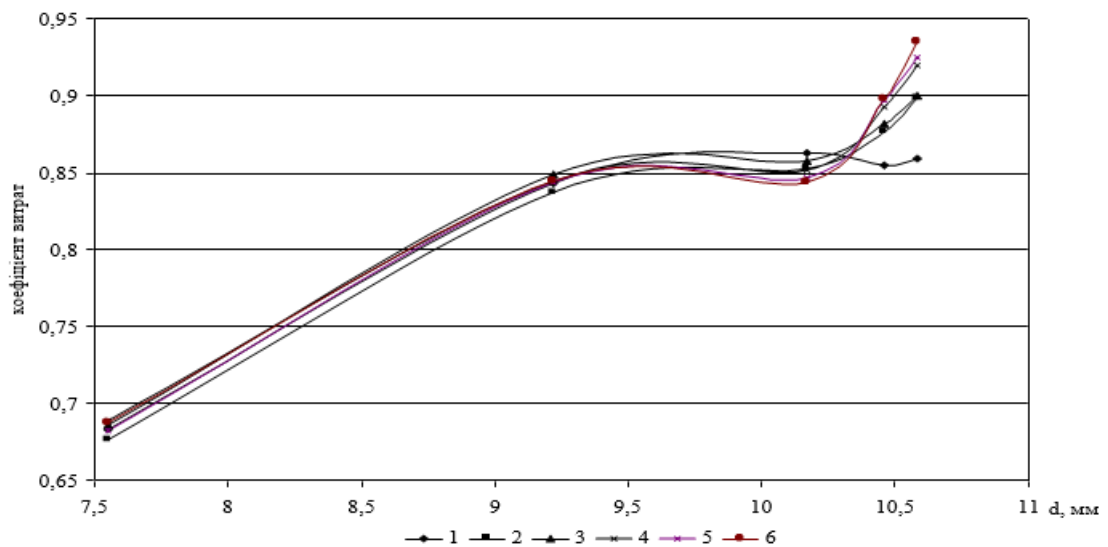


Рисунок 2.4 – Динаміка зміни коефіцієнту витрат μ , залежно від умовного діаметру отвору робочого органу ПГМ УААН при різних значеннях робочого тиску:

1 – 0,05 МПа; 2 – 0,10 МПа; 3 – 0,15 МПа; 4 – 0,20 МПа; 5 – 0,25 МПа; 6 – 0,30 МПа

У спринклерної форсунки коефіцієнт споживання μ має діапазон варіацій від 0,857 до 0,501 (як показано на рис. 2.5), коли робочий тиск і номінальний діаметр отвору зазнають змін. Форсунка з найбільшим коефіцієнтом потоку ($\mu = 0,857$) характеризується умовним діаметром отвору 7,09 мм і робочим тиском 0,30 МПа, тоді як сопло з найменшим коефіцієнтом потоку ($\mu = 0,501$) має умовний діаметр отвору 14,28. мм і робочим тиском 0,05 МПа. Примітно, що збільшення звичайного діаметра отвору в усьому діапазоні робочих тисків призводить до відповідного зниження коефіцієнта вартості (як показано на рис. 2.5).

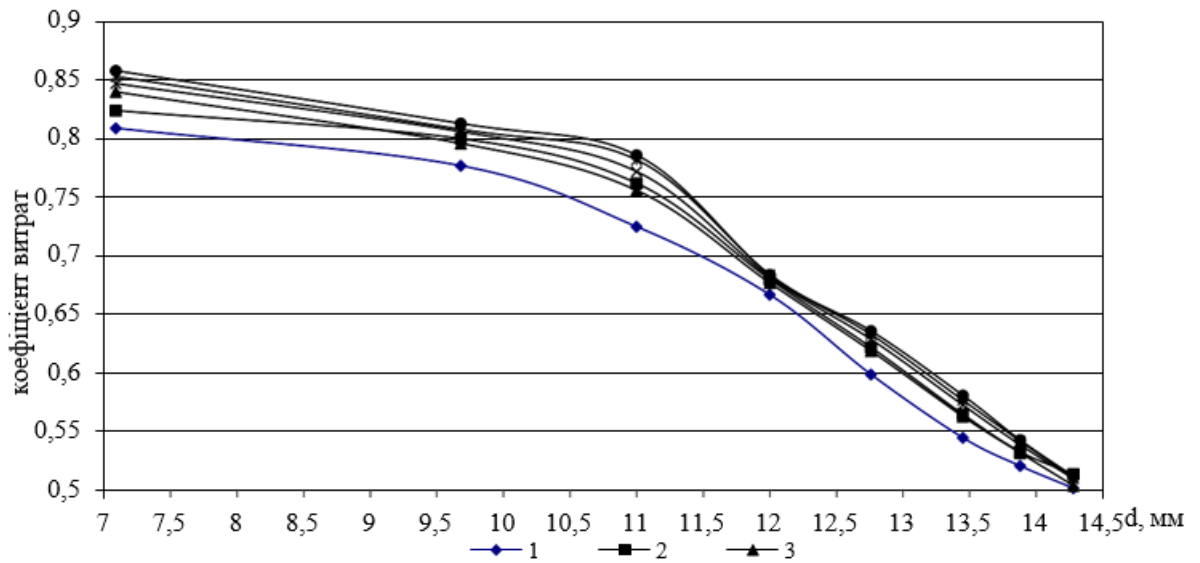


Рисунок 2.5 - Динаміка зміни коефіцієнту витрат μ , залежно від умовного діаметру отвору робочого органу ПiМ УААН при різних значеннях робочого тиску:

1 – 0,05 МПа; 2 – 0,10 МПа; 3 – 0,15 МПа; 4 – 0,20 МПа; 5 – 0,25 МПа; 6 – 0,30 МПа

Дослідження форсунки 1 показали, що збільшення умовного діаметра отвору та робочого тиску сприяє розширенню площі поливу. Зокрема, при роботі форсунки з умовним діаметром 7,55 мм, тиском 0,10 МПа та швидкістю вітру 4,5 м/с площа зрошення становила 50,2 м². Підвищення тиску до 0,30 МПа за зменшеної швидкості вітру до 2,6 м/с збільшує площу зрошення до 156,2 м² (див. табл. 2.4). При тиску 0,10 МПа площа поливу форсунки з умовним діаметром 7,55 мм дорівнює 50,2 м², тоді як для сопла з діаметром 10,58 мм вона досягає 113,6 м².

Середній діаметр крапель, що формуються соплом 1, коливається від 0,60 до 0,96 мм незалежно від умовного діаметра отвору та робочого тиску (табл. 2.4). За класифікацією природного дощу Хамфріса [4], такі опади можна віднести до середніх, оскільки діаметр крапель не перевищує 1,0 мм. Інтенсивність дощу на площі зрошення відповідає вимогам для спринклерних машин та установок [5]. Аналіз показав, що середня інтенсивність опадів збільшується разом зі

збільшенням діаметра отвору. При тиску 0,30 МПа сопло з діаметром 7,55 мм забезпечує інтенсивність 0,28 мм/хв, тоді як сопло з діаметром 10,58 мм — 0,40 мм/хв (рис. 2.6). Максимальна інтенсивність ($\rho = 0,69$ мм/хв) спостерігається для сопла з діаметром 10,46 мм при тиску 0,2 МПа, а мінімальна ($\rho = 0,24$ мм/хв) — для сопла з діаметром 7,55 мм при 0,10 МПа. Підвищення робочого тиску зумовлює зниження інтенсивності опадів, питомої потужності та посилює негативний вплив на ґрунт.

Таблиця 2.4 – Таблиця, що відображає якість дощу коротко-струминної насадки ПГМ УААН

Показники	Умовний діаметр отвору, мм				
	7,55	9,22	10,17	10,46	10,58
Тиск 0,10 МПа					
Швидкість вітру, м/с	4,5	4,1	4,7	3,8	2,6
Коефіцієнт звуження площі зрошення	0,33	0,5	0,67	0,83	0,97
Площа зрошення, м ²	50,2	63,6	78,5	94,9	113,6
Середній радіус зрошення, м	4,0	4,5	5,0	5,5	6,3
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,24	0,49	0,56	0,49	0,44
Середній діаметр крапель, мм	0,74	0,76	0,81	0,91	0,93
Тиск 0,20 МПа					
Швидкість вітру, м/с	0,5	0,5	0,5	3,0	3,5
Коефіцієнт звуження площі зрошення	0,83	0,86	0,84	0,92	0,91
Площа зрошення, м ²	85,0	81,0	95,0	102,4	84,8
Середній радіус зрошення, м	4,2	5,1	5,5	5,7	5,2
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,54	0,56	0,68	0,69	0,66
Середній діаметр крапель, мм	0,64	0,76	0,96	0,86	0,65
Тиск 0,30 МПа					
Швидкість вітру, м/с	2,4	4,8	3,4	2,8	4,4
Коефіцієнт звуження площі зрошення	0,93	0,84	0,83	0,78	0,80
Площа зрошення, м ²	156,2	245,5	212,0	214,0	229,0
Середній радіус зрошення, м	7,2	11,5	8,2	8,0	9,0
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,28	0,38	0,38	0,42	0,40
Середній діаметр крапель, мм	0,60	0,61	0,65	0,72	0,77

У апертур проявляється унікальна особливість: найвища інтенсивність постійно досягається при функціональному тиску 0,2 мегапаскаля.

На підставі дослідження форсунки 2 було встановлено, що збільшення як номінального діаметра отвору форсунки, так і робочого тиску призводить до відповідного збільшення площі зрошення. Результати таблиці 2.5 свідчать, що при умовному діаметрі отвору 7,09 мм площа зрошеної форсунки становить 75,40 м² при роботі при тиску 0,10 МПа і 149,5 м² при підвищенні тиску до 0,25 МПа.

Таблиця 2.5 – Порівняння показників факелу дощу коротко-струминної насадки ТОВ “Техносервіс”

Показники	Умовний діаметр отвору, мм							
	7,09	9,68	11,00	12,00	12,76	13,45	13,88	14,28
Тиск 0,10 МПа								
Середній радіус зрошення, м	4,90	4,70	5,20	5,10	5,30	5,10	5,10	5,00
Середня площа зрошення, м ²	75,40	69,40	84,90	81,70	88,20	81,70	81,70	78,50
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,34	0,69	0,70	0,76	0,76	0,81	0,83	0,86
Тиск 0,15 МПа								
Середній радіус зрошення, м	5,70	5,60	6,40	6,10	6,20	6,30	6,30	6,00
Середня площа зрошення, м ²	102,02	98,47	128,61	116,84	120,70	124,63	124,63	113,04
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,32	0,59	0,55	0,63	0,66	0,64	0,66	0,73
Тиск 0,20 МПа								
Середній радіус зрошення, м	6,40	6,10	7,40	6,90	7,10	6,90	6,90	6,80
Середня площа зрошення, м ²	128,61	116,84	171,95	149,5	158,28	149,5	149,5	145,19
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,30	0,53	0,49	0,59	0,56	0,62	0,63	0,65
Тиск 0,25 МПа								
Середній радіус зрошення, м	6,90	6,70	7,90	8,10	8,10	7,90	7,90	7,40
Середня площа зрошення, м ²	149,5	140,95	196,00	206,02	206,02	196,00	196,00	171,95
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,28	0,52	0,50	0,47	0,51	0,54	0,60	0,53

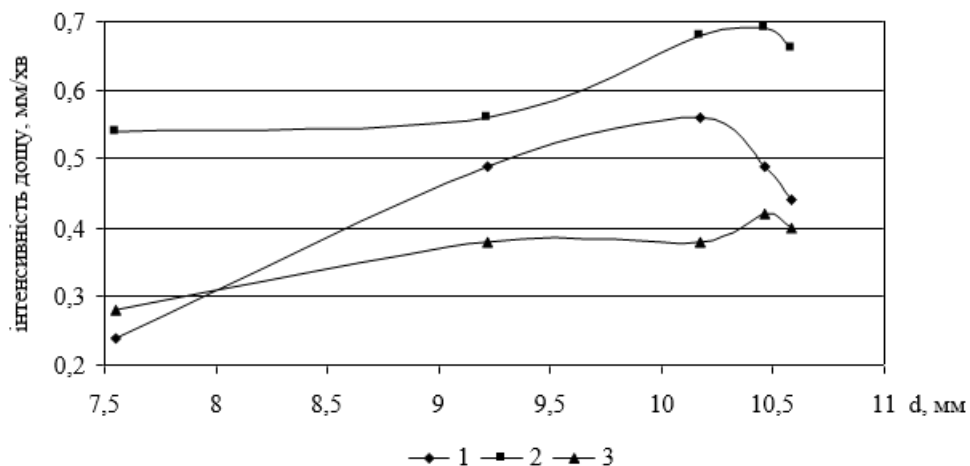


Рисунок 2.6 – Динаміка зміни інтенсивності дощу залежно від умовного діаметру отвору насадки ГіМ за різних значень робочого тиску:

1 – 0,10 МПа; 2 – 0,20 МПа; 3 – 0,30 МПа.

При дослідженні інтенсивності опадів було помічено, що середня інтенсивність опадів збільшується пропорційно умовному діаметру отвору. При роботі форсунки при тиску 0,20 МПа отвір з умовним діаметром 7,09 мм призводить до інтенсивності опадів 0,30 мм/хв. З іншого боку, отвір з умовним діаметром 14,28 мм дає інтенсивність опадів 0,65 мм/хв при тому ж робочому тиску. Слід зазначити, що збільшення робочого тиску призводить до зменшення інтенсивності опадів, як показано на малюнку 2.7.

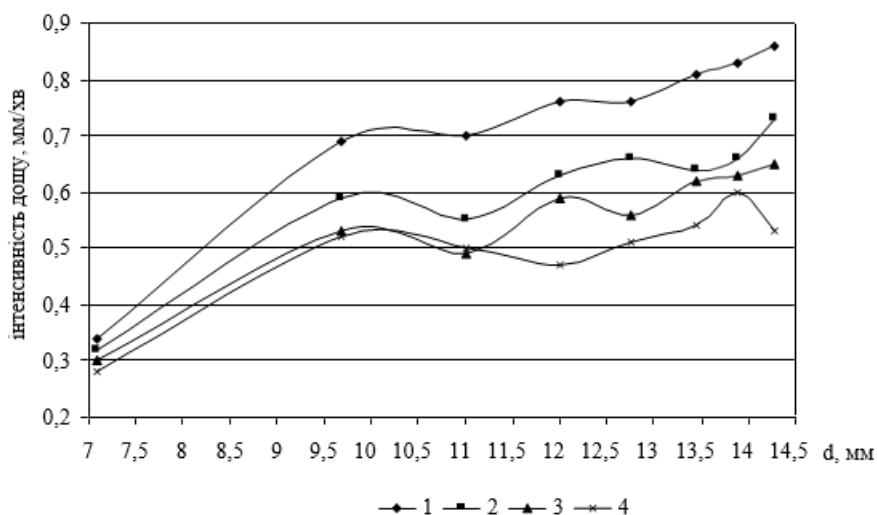


Рисунок 2.7 – Динаміка зміни інтенсивності дощу від умовного діаметра отвору насадки ТОВ “Техносервіс” за різних значень робочого тиску:

1 – 0,10 МПа; 2 – 0,15МПа; 3 – 0,20 МПа; 4 – 0,25 МПа.

За результатами досліджень встановлено, що при умовному діаметрі отвору форсунки 7,55 мм, робочому тиску 0,10 МПа та швидкості вітру 4,5 м/с її ефективний коефіцієнт зрошення становить 0,23. Крім того, насадка 2, яка має умовний діаметр отвору 10,58 мм і працює при швидкості вітру 2,6 м/с, має ефективний коефіцієнт зрошення 0,42, як показано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняння рівномірності розподілення водної маси коротко-струминної насадки ПГМ УААН

Показники	Умовний діаметр отвору, мм				
	7,55	9,22	10,17	10,46	10,58
Тиск 0,10 МПа					
Швидкість вітру, м/с	4,5	4,1	4,7	3,8	2,6
Середній шар дощу, мм	0,33	0,5	0,67	0,83	0,97
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,24	0,49	0,56	0,49	0,44
Коефіцієнт поливу ефективного	0,23	0,40	0,34	0,41	0,42
недостатнього	0,10	0,29	0,30	0,43	0,28
надлишкового	0,67	0,31	0,36	0,16	0,30
Тиск 0,20 МПа					
Швидкість вітру, м/с	0,5	0,5	0,5	3,0	3,5
Середній шар дощу, мм	0,83	0,86	0,84	0,92	0,91
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,54	0,56	0,68	0,69	0,66
Коефіцієнт поливу ефективного	0,22	0,21	0,22	0,20	0,23
недостатнього	0,48	0,40	0,40	0,30	0,38
надлишкового	0,30	0,39	0,38	0,50	0,39
Тиск 0,30 МПа					
Швидкість вітру, м/с	2,4	4,8	3,4	2,8	4,4
Середній шар дощу, мм	0,93	0,84	0,83	0,78	0,80
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,28	0,38	0,38	0,42	0,40
Коефіцієнт поливу ефективного	0,35	0,36	0,41	0,43	0,34
недостатнього	0,27	0,28	0,26	0,24	0,28
надлишкового	0,32	0,36	0,33	0,33	0,38

Встановлено, що збільшення номінального діаметра отвору форсунки призводить до підвищення питомої потужності опадів і значного ущільнення ґрунту. Під тиском 0,10 МПа сопло з типовим діаметром отвору 7,55 мм дає питому потужність опадів 0,018 Вт/м². Альтернативно, сопло з типовим діаметром отвору 10,58 мм виробляє питому потужність опадів 0,053 Вт/м² (як показано в таблиці 2.7).

Таблиця 2.7 – Порівняння питомої потужності дощу, що падає на ґрунт насадки ІГІМ УААН

Тиск, МПа	Умовний діаметр отвору, мм				
	7,55	9,22	10,17	10,46	10,58
	Питома потужність дощу, Вт/м ²				
0,10	0,018	0,037	0,054	0,057	0,053
0,20	0,033	0,045	0,086	0,07	0,04
0,30	0,014	0,022	0,023	0,03	0,032

Дані, наведені в таблиці 2.7, ілюструють зворотний зв'язок між робочим тиском і питомою потужністю дощу на ґрунт. Зі збільшенням тиску спостерігається зниження питомої потужності дощу, що підтверджується представленими результатами.

Найбільша питома потужність опадів спостерігається при робочому тиску 0,2 МПа. Це можна пояснити тим, що цей конкретний рівень тиску відповідає максимальній інтенсивності опадів, як показано на малюнку 2.6.

Після аналізу форсунок було встановлено, що їх дощові параметри задовільні і вони дійсно придатні для використання в мобільних спринклерах. Однак важливо відзначити, що сопло 1 має кільцевий отвір шириною 1,5-4,0 мм, що не вимагає додаткового очищення води. Навпаки, форсунка 2 має ширину кільцевого отвору 0,65-3,0 мм і тому потребує додаткового очищення води.

2.2 Агротехнічні параметри дощувальних агрегатів

Одна з ключових проблем, що нас цікавить - в Україні зрошувальні системи в основному будували з метою використання зрошувачів широкого захвату, таких як «Фрегат», «Дніпро» та ДДА-100 МА. Реформування сільськогосподарського виробництва та подрібнення господарств призвели до суттєвого зменшення площ, що потребують зрошення. Внаслідок цього застосування машин такого типу у багатьох випадках стало економічно недоцільним. Аналіз господарств різних форм власності показав, що середня

площа одного господарства становить 26,9 га. Слід зауважити, що в Україні машини, здатні зрошувати площу до 30 га, не виготовлялися та майже не використовувалися. Таким чином, фрагментація господарств породила потребу в спринклерах, які можуть зрошувати сезонну площу 20-30 гектарів, і необхідну координацію їх роботи як у нових, так і в уже існуючих системах зрошення.

Для оцінки агротехнічних характеристик мобільних дощувальних машин враховувалися різні параметри. Серед них — діапазон норм зрошення від 100 до 300 м³/га, максимальна інтенсивність дощу для пристроїв зі середнім потоком 0,5 мм/хв та для короткострумєневих форсунок — 1,0 мм/хв, середній діаметр краплі дощу 1,0 мм, обмеження сезонного навантаження 15 га, максимальна довжина перегону 450 м, максимальний розрахунковий гідромодуль 1,0 л/(с·га), а також робочий тиск на гідранті, що не перевищує 0,5 МПа.

Використання дощувальних машин «Фрегат» і «Дніпро» на існуючій зрошувальній мережі через допоміжний трубопровід враховано при визначенні максимальної довжини прогону 450 метрів. Це рішення було прийнято з урахуванням розробленої спринклерної технології, що використовується.

Визначено, що сезонний попит на воду знаходиться на піку, що потребує максимального споживання води. Це значення було розраховано за формулою [6].

$$Q_{\max} = \frac{F \cdot q_{\max} \cdot \beta}{\eta \cdot K_{\text{доб}}}, \quad (2.1)$$

де Q_{\max} — максимальна витрата води, л/с;

F — сезонна площа зрошення, га;

q_{\max} — гідромодуль зони зрошення, л/(с·га);

β — коефіцієнт втрат води на випаровування;

η — коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи;

$K_{\text{доб}}$ — коефіцієнт використання часу доби.

Коефіцієнт втрати води на випаровування може змінюватися залежно від кількох факторів, включаючи переважаючі кліматичні умови та тривалість і частоту поливу протягом світлового дня. Як зазначено в [7], цей коефіцієнт може коливатися від 1,05 до 1,3 за різних обставин.

Графічне зображення залежності між площею сезонного зрошення та споживанням води спринклерною системою зображено на рисунку 2.8. Цей графік враховує 15% втрати води через випаровування, а також коефіцієнт використання системи за часом доби ($K_{dob} = 0,84$) і коефіцієнт корисної дії ($\eta = 0,9$).

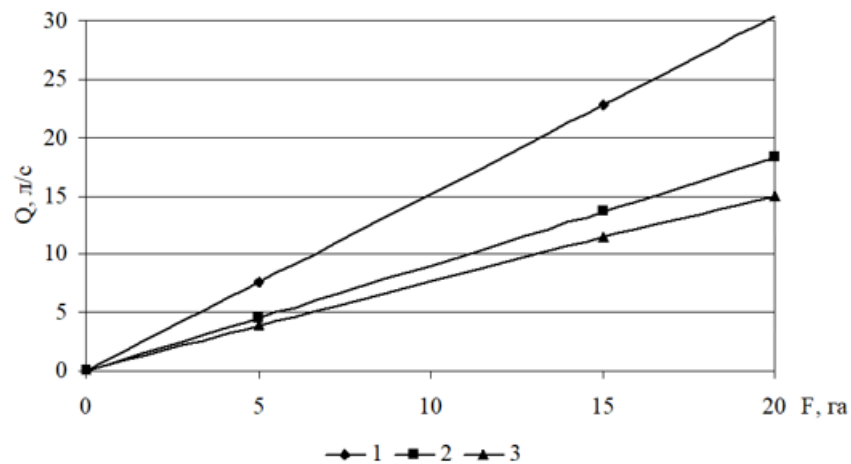


Рисунок 2.8 – Динамічна зміна сезонної площі поливу F від витрати водних ресурсів Q дощувальної установки для зон:

1 – гідромодуль $q = 1$ л/(с·га); 2 – гідромодуль $q = 0,6$ л/(с·га); 3 – гідромодуль $q = 0,5$ л/(с·га).

Дані, зображені на рисунку 2.8, показують, що для того, щоб гарантувати сезонне навантаження в 15 га для зони зрошення з гідромодулем 1,0 літра в секунду на гектар, спринклерна система повинна мати витрату 22 літри в секунду. При площі зрошення з гідромодулем 0,6 і 0,5 л/с/га для досягнення однакового сезонного навантаження витрата спринклерної системи повинна становити відповідно 13 і 11 л/с.

Продуктивність чистої роботи протягом однієї години використання нової мобільної системи поливу, відомої як позиційна спринклерна установка, можна розрахувати за такою формулою [8]:

$$\omega = \frac{3,6 \cdot Q \cdot t}{m}, \quad (2.2)$$

де ω – площа поливу за одну годину роботи, га;

t – час поливу, год;

m – поливна норма, м³/га;

Q – витрата дощувальної установки, л/с.

При розробці планів передової мобільної зрошувальної системи, яка буде використовуватися для зрошення площі від 15 до 20 га, передбачається включення трьох спринклерів середньої витрати. Ці спринклери складаються з одного центрального блоку та двох бічних блоків, як показано на малюнку 2.9. Ширина смуги опадів, створюваної цими спринклерами, змінюватиметься залежно від їх конкретної конструкції, і цей розмір розраховується за такою формулою:

$$L = 2 \cdot (R + 2r) - 2B, \quad (2.3)$$

де L – ширина смуги дощу, м;

R – радіус дії центрального дощувального апарату, м;

r – радіус дії бічного дощувального апарату, м;

B – величина перекриття, м.

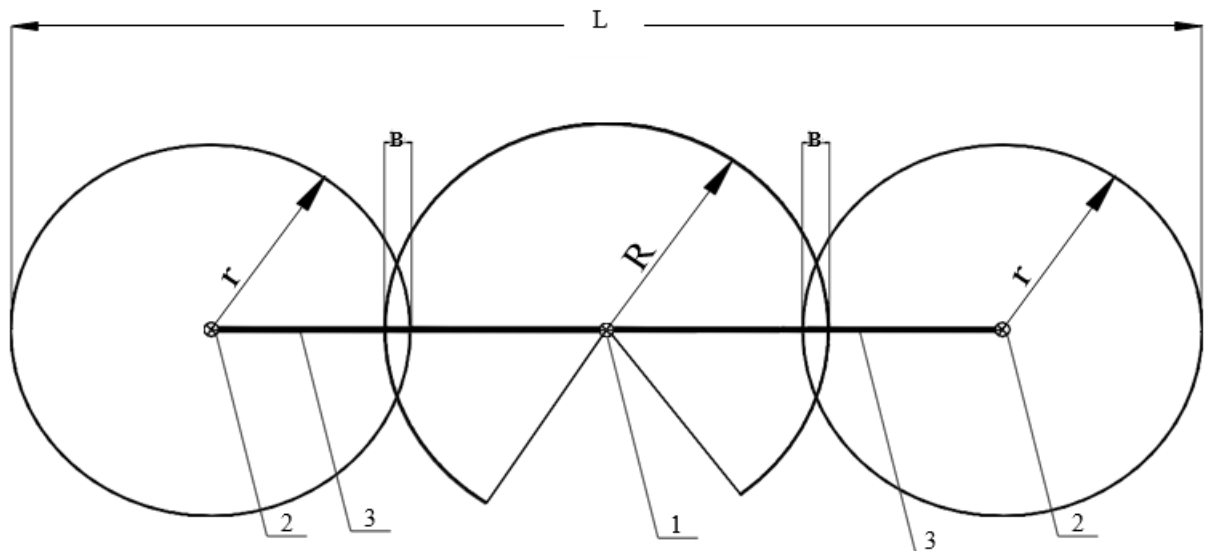


Рисунок 2.9 - Принципова схема встановлення робочих органів на пропонованому ПКЗ:

1 – центральний апарат; 2 – бічні апарати; 3 – поліетиленові трубопроводи

Розроблена спринклерна установка може використовувати спринклери середньої витрати різних типів і характеристик, як представлено в таблиці 2.8 [9, 10].

Таблиця 2.8 – Порівняння основних типів і характеристик дощувальних апаратів, що можуть бути взяті за основу на дослідній дощувальній установці

Тип дощувального апарату (ДА)	Робочий тиск на ДА, МПа	Витрата води ДА, л/с	Радіус дії, м
“Фрегат” №3 $d = 7,1/5,6$	0,2	1,2	14,6
	0,25	1,3	16,6
	0,3	1,4	18
“Роса” №3 $d = 10/7/4$	0,2	2,47	18,4
	0,3	3,3	22,6
	0,4	3,5	26,80
	0,5	3,93	31,00
	0,6	4,31	35,20
“Роса” №3 $d = 12/7/4$	0,2	3,14	20,40
	0,3	3,85	24,60
	0,4	4,45	28,80
	0,5	4,98	33,00
	0,6	5,46	37,20
“Роса” №3 $d = 14/7/4$	0,2	3,76	22,40
	0,3	4,60	26,60
	0,4	5,32	30,80
	0,5	5,90	35,00
	0,6	6,81	39,20
“Роса” №3 $d = 16/7/4$	0,2	5,00	24,40
	0,3	6,00	28,60
	0,4	6,91	32,80
	0,5	7,36	37,00
	0,6	8,47	41,00
“Роса” №3 $d = 18/7/4$	0,2	5,90	26,40
	0,3	7,25	30,60
	0,4	8,37	34,80
	0,5	9,36	39,20
	0,6	10,20	43,20

Що стосується шлангово-барабанної системи поливу, розроблений метод поливу, який є мобільним, шар опадів ретельно розраховується за один прохід із заданою швидкістю.

$$h = \frac{60 \cdot Q}{v \cdot b} \quad (2.4)$$

де h – шар опадів, мм;

v – швидкість руху установки, м/хв;

b – ширина захвату дощем, м.

Швидкість руху спринклера або панелі керування, оснащеної короткими струминними форсунками, у контексті конфігурації спринклера з барабанним шлангом залежить як від робочого тиску в системі, так і від швидкості поливу.

У таблиці 2.9 [11] наведені первинні дані для проведення досліджень щодо встановлення оптимальної швидкості руху спринклера для дозування певної норми поливу. Вимірюють тиск на вході спринклера з урахуванням гідравлічних втрат по довжині 120 м поліетиленового трубопроводу діаметром 32 мм.

Таблиця 2.9 - Вихідні дані для проведення досліджень з визначення потрібної швидкості руху дощувального апарату

Тип дощувального апарату (ДА)	Робочий тиск на вході дощувальної машини, МПа	Робочий тиск на ДА, МПа	Витрата ДА, л/с	Радіус дії, м
“Фрегат” №3 $d = 6,3/4,8$	0,4	0,2	1,0	16
	0,5	0,3	1,1	18
	0,6	0,35	1,2	20
“Фрегат” №3 $d = 7,1/4,8$	0,4	0,2	1,1	15
	0,5	0,25	1,2	17
	0,6	0,3	1,3	19
“Фрегат” №3 $d = 7,1/5,6$	0,45	0,2	1,2	14,6
	0,55	0,25	1,3	16,6
	0,6	0,3	1,4	18

Дослідження швидкості руху спринклера проводилось за допомогою спеціально розробленого для цього рукавно-барабанного апарату. Апарат був оснащений поршневым гідравлічним приводом, а випробування проводили при

нормах поливу 100, 200 і 300 м³/га, як зазначено в таблиці 2.10. У рамках дослідження також була виміряна та зафіксована ширина зони опадів.

Таблиця 2.10 - Швидкість руху досліджуваного апарату шланго-барабанної установки при поливних нормах та робочому тиску

Тип дощувального апарату (ДА)	Робочий тиск на вході дощувальної установки, МПа	Робочий тиск на ДА, МПа	Витрата ДА, л/с	Ширина смуги дощу, м	Швидкість пересування ДА, м/хв, при поливній нормі, м ³ /га		
					100	200	300
“Фрегат” №3 <i>d</i> = 6,3/4,8	0,4	0,2	1,0	32	0,22	0,11	0,08
	0,5	0,3	1,1	36	0,20	0,10	0,08
	0,6	0,35	1,2	40	0,20	0,10	0,08
“Фрегат” №3 <i>d</i> = 7,1/4,8	0,4	0,2	1,1	30	0,25	0,13	0,08
	0,5	0,25	1,2	34	0,25	0,13	0,08
	0,6	0,3	1,3	38	0,22	0,10	0,07
“Фрегат” №3 <i>d</i> = 7,1/5,6	0,45	0,2	1,2	29	0,30	0,14	0,10
	0,55	0,25	1,3	33	0,30	0,14	0,10
	0,6	0,3	1,4	36	0,30	0,14	0,10

Допустима норма поливу, яку можна здійснити без появи поверхневого стоку при найбільшій нормі поливу, залежить від швидкості руху.

Формула [12] використовується для визначення середньої інтенсивності дощу ρ (вимірюється в мм/хв), який створює машина.

$$\rho = \frac{60 \cdot Q}{F}, \quad (2.4)$$

Просторове охоплення зрошення, що забезпечується установкою, залежить від ефективного радіуса використовуваного спринклера середнього потоку.

В умовах зрошення плодових та овочевих культур на ґрунтах із низькою водопроникністю доцільно впроваджувати шлангову котушку для мінімізації енергетичного впливу дощових крапель. Це можна додатково оптимізувати,

використовуючи зрошувальну консоль із пристроями короткого потоку з круговою дією, як показано на малюнку 2.10.

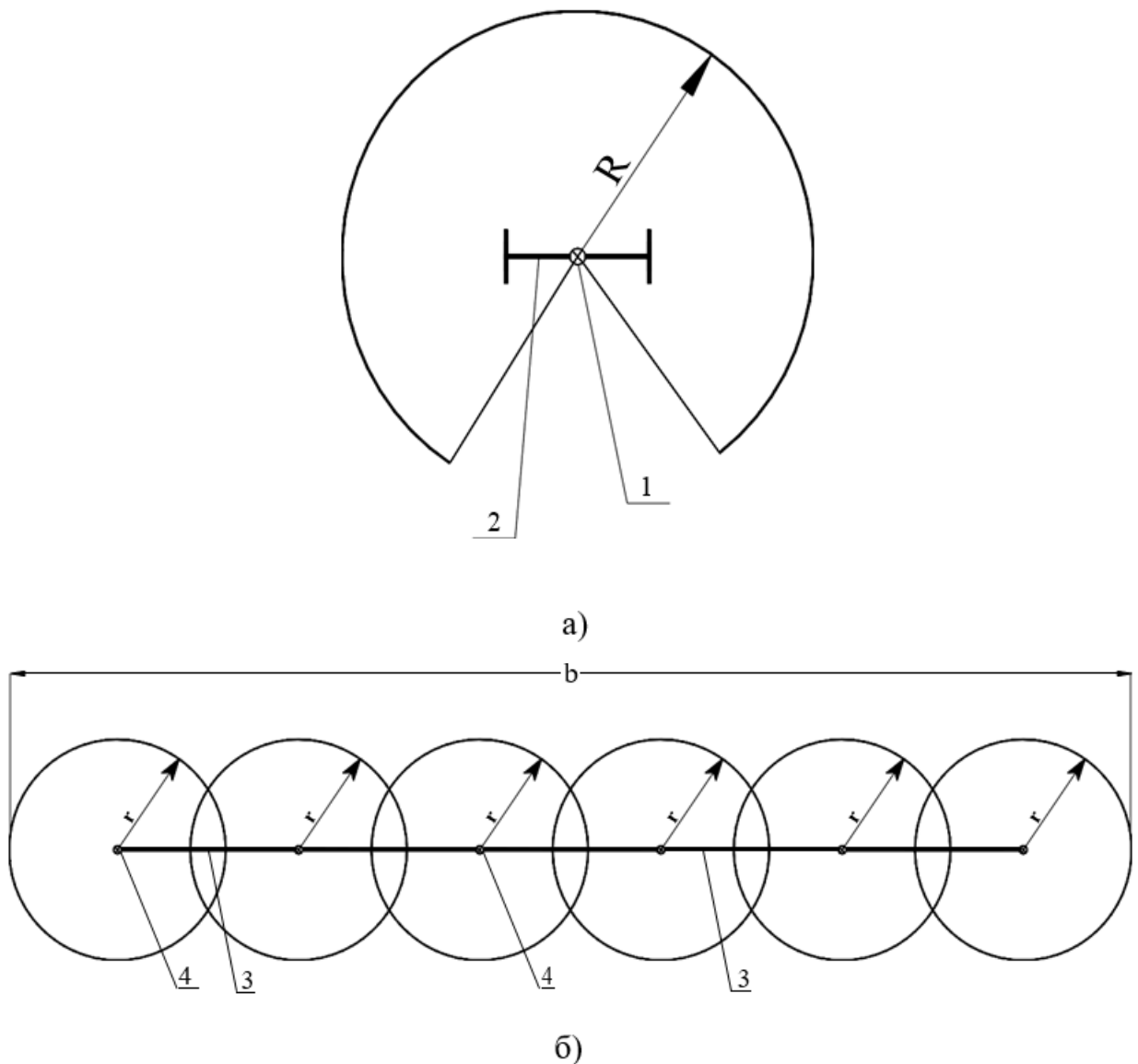


Рисунок 2.10 - Принципова схема встановлення робочих органів на полозках (а) і коротко-струминних насадок на поливній консолі (б) досліджуваної шланго-барабанної установки:

1) середньо-струминний апарат, 2) полозки, 3) поливна консоль, 4) коротко-струминні апарати кругової дії

2.3 Висновки

Була проведена оцінка адекватного споживання води для підтримки різноманітних потреб мобільних спринклерів у різних зонах зрошення. Швидкість руху спринклера в новоствореній системі шлангового барабана вимірювалася відповідно до заданих норм поливу та відповідного робочого тиску.

Дослідження передових гідравлічних приводів дало значні результати. Зокрема, було визначено, що найбільш вигідний діапазон робочого тиску для гідравлічного приводу мембранного типу знаходиться між $P_{роб.} = 0,4-0,45$ МПа.

У системах гідроприводу тривалість робочого циклу є важливим фактором, що визначає ефективність системи. При робочому тиску $P_{роб.} = 0,4$ МПа, середня тривалість робочого циклу для гідроприводу мембранної конструкції становить 35 секунд, для поршневої – 54 секунди. На час, необхідний для повного обертання вала, також впливає тип використовуваного гідравлічного приводу: для мембранного типу потрібно 8 хвилин 45 секунд, а для поршневого – 13 хвилин 30 секунд. В результаті частота обертання вала відбору потужності дорівнює 0,12 об/хв для мембранного гідроприводу і 0,075 об/хв для поршневого гідроприводу.

Гідравлічний діафрагмовий привід при робочому тиску 0,35 МПа може забезпечити переміщення трубопроводу діаметром 32 мм і довжиною прольоту 200 м. Запас сили, необхідний для такого завдання, становить 39 Н. Між тим, гідропривод поршневого типу, також при робочому тиску 0,35 МПа, здатний перемістити трубопровід діаметром 40 мм і довжиною 200 м. Запас сили, необхідний для цього завдання, становить 220 Н. Важливо зазначити, що ці висновки були отримані шляхом суворих експериментів і відповідають точним вимірюванням.

При застосуванні пересувної дощувальної техніки фронтальної дії, а також пересувних ферм із рукавно-барабанными установками рекомендується застосовувати кругові дощувальні форсунки. Це служить для зменшення

питомого тиску опадів на ґрунт. Важливо переконатися, що продукти очищення води, здатні видаляти тверді частинки, використовуються разом із вищезгаданими форсунками. Форсунки виробництва ІГІМ УААН мають бути розміром більше 2,5 мм, а форсунки ТОВ «Техносервіс» — більше 1,5 мм.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Аналіз конструкції запропонованих дощувальних машин

Зрошувальна система КОП-1 – мобільна установка, розроблена для поливу всіх видів сільськогосподарських культур як фронтальним, так і позиційним способом. Основним методом зрошення є використання спринклерів, що робить його важливим інструментом для сучасної сільськогосподарської практики.

Зрошувальна система КОП-1 виконує зрошення на конкретній ділянці за допомогою відбору води з герметичної або відкритої зрошувальної мережі за допомогою моторизованого насоса.

Призначення пристрою полягає в тому, щоб працювати на відкритому повітрі в залежності від польових умов. Він розроблений спеціально для помірного клімату з температурою навколишнього середовища не нижче +5°C. Для забезпечення належної функціональності він класифікується як кліматичне виконання U1 і категорія розміщення I.

Пристрій КОП-1 складається з візка, який має два колеса, як показано на рисунку 3.1. Цей візок оснащений стояком, який містить центральний спринклер, а також двома барабанами, які містять напірні поліетиленові шланги довжиною не більше 40 метрів і діаметром 32 міліметри.

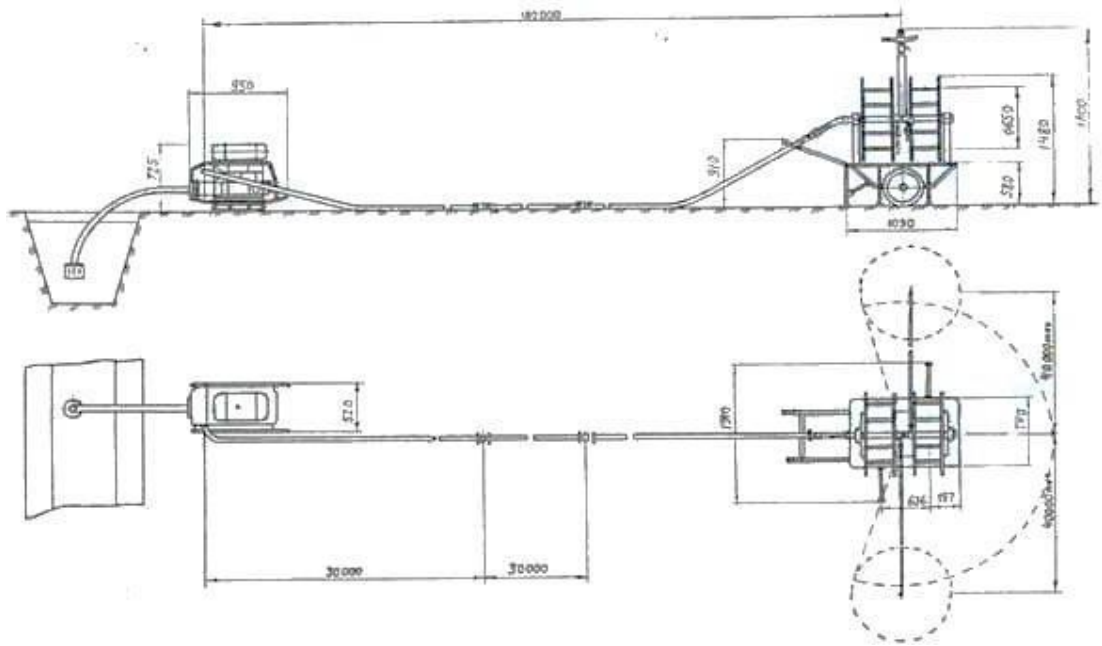


Рисунок 3.1 - Принципова схема КОП-1 - пересувного комплексу зрошування

У існуючій системі транспортування води здійснюється через шланги до бічних спринклерів, які розташовані на полозах. У той час як центральний спринклер працює в межах визначеного сектора, бічні спринклери працюють у межах кругової траєкторії.

Подача води на КОП-1 здійснюється або через гідрант зрошувальної мережі, або за допомогою мотопомпи. Для цього використовується трубопровід діаметром 75 або 90 мм. Трубопровід складається з серії гнучких секцій, що забезпечує швидке під'єднання або від'єднання при зрошенні окремих ділянок. Крім того, така конструкція дозволяє ефективно регулювати відстань трубопроводу від водозабірної гідранта.

У таблиці 3.1 наведено вичерпний огляд основних розмірів і параметрів мобільного комплексу для поливу.

Для поливу зернових, овочевих, баштанних і технічних культур за допомогою дощувальних установок розроблено нову гідравлічну барабанну установку фронтальної дії ШБУ-1,5/36.

Процес поливу, який здійснюється за допомогою шлангово-барабанної установки, передбачає поступальний рух води. Джерело води для установки може бути отримано як з гідранта закритої зрошувальної системи, так і з відкритої зрошувальної мережі за допомогою механізованого насоса.

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики експериментальної установки КОП - 1

Найменування параметра і розміри	Одиниці виміру	Норма
Тип обладнання		Візок пересувний фронтальної і позиційної дії
Водозабір		З гідранта закритої мережі; з відкритої мережі
Витрата води	л/с	5-13,3
Напір води	МПа	0,5
Кількість барабанів	шт.	2
Дощувач центральний, 2”	шт.	1
Дощувач боковий, 1”	шт.	2
Відстань між позиціями зрошення	м	30
Напірні поліетиленові трубопроводи:		
- кількість	шт.	2
- довжина	м	не більше 40
- діаметр	мм	32
Поливна норма	м ³ /га	100 - 300
Час поливу на одній позиції при нормі 100 м ³ /га	год	1,1
Продуктивність при нормі 300 м ³ /га	га/год	0,06 – 0,15
Маса конструктивна	кг	316

Даний апарат призначений для практичного використання на відкритому повітрі в польових умовах регіонів з помірним кліматом за мінімальної температури навколишнього середовища +5 °С. Його кліматичні характеристики віднесено до категорії U1, а категорія розміщення — I.

ШБУ-1,5/36 являє собою пристрій на двоколісній рамі, на якій розміщено барабан із гідравлічним приводом. На барабан намотується поліетиленовий трубопровід діаметром 32 мм та довжиною 120 м, призначений для подачі води до спринклера середньої струмені, що встановлений на полозах. Регулювання подачі води здійснюється за допомогою гідроприводу, який включає гідроциліндр діаметром 122 мм, двоходовий розподільний клапан і регулюючий кран. Зміна подачі води впливає на швидкість руху спринклера під час поливу.

Барабан діаметром 800 мм виготовлений із труб прямокутного перерізу з фланцями та встановлений на підшипниках ковзання. Трубопровід укладається навколо барабана у два ряди, що сприяє підвищенню продуктивності установки. За потреби продуктивність можна додатково збільшити, змінивши трубопровід діаметром 32 мм на трубопровід діаметром 40 мм.

У таблиці 3.2 наведено основні розміри та параметри шлангової котушки.

Таблиця 3.2 - Основні технічні характеристики експериментальної моделі ШБУ – 1.5/36

Найменування параметра і розміри	Одиниці виміру	Норма
Тип обладнання		Шлангобарабанна установка з гідроприводом, фронтальної дії
Водозабір		З гідранта закритої мережі; з відкритої мережі з використанням мотопомпи
Витрата води	л/с	1,2 – 2,0
Напір води	МПа	0,4 – 0,6
Діаметр барабана	мм	800
Довжина трубопроводу	м	120
Діаметр трубопроводу	мм	32
Ширина смуги дощу	м	36
Поливна норма	м ³ /га	100-300
Продуктивність при нормі 300 м ³ /га	га/год	0,02
Маса конструктивна	кг	140

3.2 Результати моделювання рівномірності розподілу водної маси розроблених машин

У дослідженні КОП-1 розташування колекторів дотримувалося радіального підходу з відстанню між колекторами 2 метри.

Для того, щоб сільськогосподарські культури не заважали нашим дослідженням, колектори були стратегічно розміщені. Усі колектори мали однакову вхідну площу 116,9 см² і вхідні частини, встановлені на одному рівні. Щоб мінімізувати вплив вітру, вхідні частини розташовували на 0,2 м над поверхнею землі. Швидкість вітру контролювали за допомогою ротаційного анеометра з 10-хвилинними інтервалами, з нижнім порогом швидкості 0,2 м/с і точністю в межах $\pm 10\%$. Крім того, кожні 10 хвилин реєстрували напрямок вітру за допомогою флюгера.

Спринклер, що аналізувався, був підданий тиску води, який був точно налаштований у діапазоні $\pm 4\%$ від попередньо визначеного значення. Ці тиски вимірювали за допомогою стандартного манометра, який мав похибку лише $\pm 2\%$.

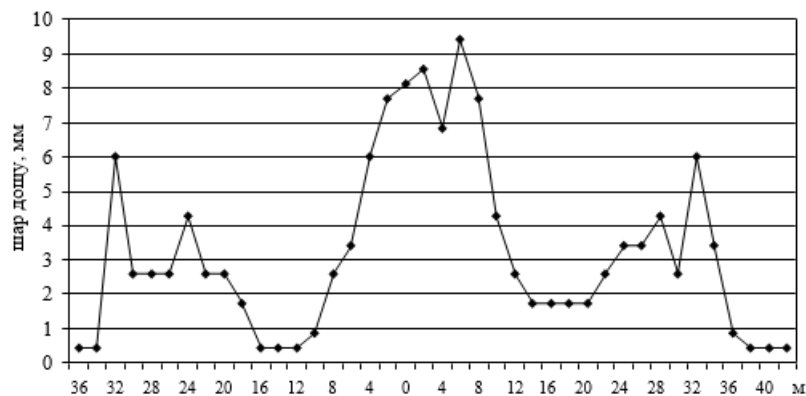
Протягом усього дослідження спринклерна система працювала таким чином, який визначався її розташуванням. Подача води до спринклерної системи була забезпечена через трубопровід діаметром 75 міліметрів. Вимірний тиск на вході в систему становив 0,5 мегапаскаля. Крім того, було ретельно виміряно довжину бокових поліетиленових трубопроводів, яка становила 26 метрів.

Спочатку КОП-1 оснащувався центральним спринклером «Роза-3» з первинним соплом діаметром 18 мм і додатковими соплами діаметром 7 і 4 мм. Також були включені бічні зрошувачі «Фрегат-3» з діаметром форсунок 5,6 мм. Центральний спринклер міг охоплювати сектор 300°, тоді як бічні спринклери працювали за круговою схемою. Згодом бічні зрошувачі «Фрегат-3» були замінені на зрошувачі «Роса-3» з головним соплом діаметром 14 мм і додатковими форсунками діаметром 7 і 4 мм. Результатом цього дослідження

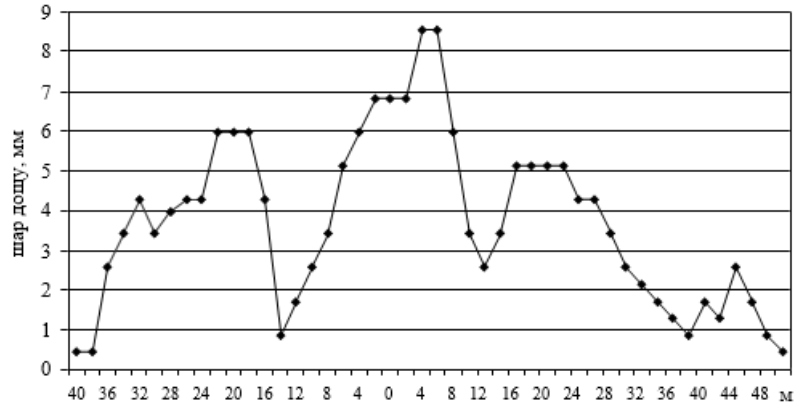
стало отримання діаграм, що демонструють розподіл шару опадів по установці (рис. 3.4), а також агротехнічні показники (табл. 3.3).

Ідентифікація показників рівномірності дощу є важливою в галузі сільського господарства. Ці показники оцінюють шляхом вимірювання ефективного коефіцієнта зрошення (Кеф.), коефіцієнта надлишку (Кнад.) і недостатнього зрошення (Кнед.) за вітчизняною методикою [13, 14].

Аналіз результатів дослідження сприяв визначенню кількох ключових висновків. У першому сценарії, де середня швидкість вітру була розрахована як 4 м/с, ефективний коефіцієнт зрошення (Кеф.) був визначений як 0,21, тоді як коефіцієнт надлишкового зрошення (Кнад.) і недостатній коефіцієнт зрошення (Кнед.) виявилися 0,36 і 0,43 відповідно. У другому сценарії, при середній швидкості вітру 2,5 м/с, значення коефіцієнтів Кеф., Кнад. та Кнед. становили відповідно 0,36, 0,31 та 0,33. Варто зазначити, що у обох сценаріях бічний вплив вітру спричинив зміщення смуги дощу вправо відносно центру спринклера, що ілюструється на рис. 3.4.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Динамічний розподіл шару водної маси (мм) уздовж установки КОП - 1 при роботі з різними типами дощувальних апаратів :

- а) центральний - “Роса-3” (Ø 18, 7, 4); бічні - “Фрегат-3” (Ø 5,6; 5,6);
- б) центральний - “Роса-3” (Ø 18, 7, 4); бічні - “Роса-3” (Ø 14, 7, 4).

Аналіз структури дощу показав, що середній діаметр крапель на початковій ітерації становив 1,9 мм, тоді як на наступній він зменшився до 1,38 мм. Загалом характеристика дощу для установки з даними пристроями відповідає нормативним вимогам. Водночас низький коефіцієнт ефективного зрошення можна пояснити як високою швидкістю вітру, так і статичним розташуванням установки без перекриття зон зрошення.

Таблиця 3.3 - Агротехнічні показники КОП-1

Показник, тип апаратів	Значення показників за даними випробувань	
	Варіант 1	Варіант 2
	Середньострумнінні – центральний – “Роса-3” (Ø 18, 7, 4); бічні - “Фрегат-3” (Ø 5,6; 5,6).	Середньострумнінні – центральний – “Роса-3” (Ø 18, 7, 4); бічні - “Роса-3” (Ø 14, 7, 4).
Напір води перед КОП-1, МПа	0,5	0,5
Швидкість вітру, м/с	4,0	2,5
Ширина смуги дощу по крайніх краплинах, м	85,0	91,6
Довжина смуги дощу по крайніх краплинах, м	25	34
Площа поливу з однієї позиції, га	0,18	0,22
Загальна витрата води, л/с	8,6	12,9
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,18	0,11
Діаметр краплі дощу, мм:		
d_{max}	2,5	2,21
d_{min}	0,7	0,82
$d_{серед}$	1,9	1,38
Схема поливу	По прямокутнику	По прямокутнику
Не полита площа, % (кути)	31	30
Рівномірність поливу за Крістіансенем	55	63
Рівномірність поливу		
$K_{эф.}$	0,21	0,36
$K_{над.}$	0,36	0,31
$K_{нед.}$	0,43	0,33
Середня похибка дослід, ±мм	0,18	0,17
Показник точності дослід, %	6,4	4

Експериментальна оцінка установки рукавного барабана ШБУ-1,5/36 проводилася на плоскому мікрорельєфному полігоні. Протягом усього періоду експерименту середня швидкість вітру була зареєстрована на рівні 1 метра на секунду.

Відповідно до схематичного плану, колектори були встановлені на відстані один метр один від одного, утворюючи ортогональну лінію щодо траєкторії руху спринклера (як показано на рис. 3.5). Варто відзначити, що

найдальші колектори, віддалені відстанню $L = 40$ м, перевищують ширину дощового поясу на 4 м.

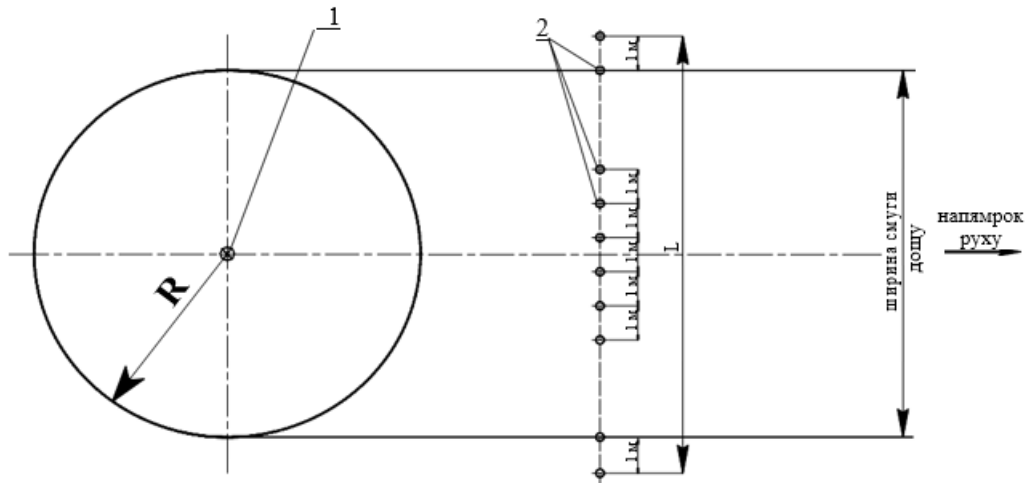


Рисунок 3.5 - Схема розміщення колекторів при дослідженні ШБУ – 1.5/36:

1)дощувальний апарат; 2)колектори

Для вимірювання тривалості проходження спринклера використовували секундомір із поділкою 0,1 с.

Початок відліку часу розпочався саме в той момент, коли перші краплі дощу вдарили по колекторах, і завершився лише після того, як останні краплі вступили в контакт. Протягом всього експерименту в барабанній установці використовувався напірний поліетиленовий трубопровід довжиною 120 метрів і зовнішнім діаметром 32 міліметри. Додатково установку оснастили середньопоточним спринклером з діаметром сопла 6,3 та 4,8 міліметра під назвою «Фрегат-3». Вимірний тиск на вході в установку становив 0,35 мегапаскаля.

Після проведення обширних досліджень було отримано повний огляд розподілу шару дощу вздовж установки (як показано на рис. 3.6) та агротехнічних показників (як представлено в таблиці 3.4).

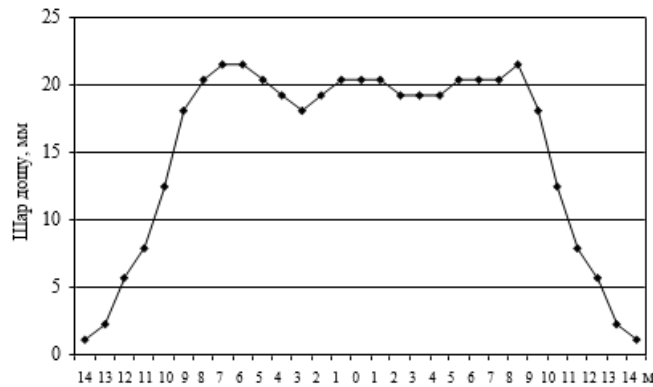


Рисунок 3.6 - Розподіл водної маси уздовж ШБУ -1,5/36 при використанні апарату “Фрегат-3” (Ø 6,3/4,8)

Таблиця 3.4 - Агротехнічні показники ШБУ - 1.5/36

Показники, тип апарата	Значення показників
	“Фрегат – 3” (Ø 6,3/4,8)
Напір води перед ШБУ-1,5/36, МПа	0,35
Швидкість вітру, м/с	1,0
Ширина смуги дощу по крайніх краплинах, м	28
Довжина смуги дощу по крайніх краплинах, м	28
Площа поливу з однієї позиції, га	0,34
Довжина поліетиленового трубопроводу, м	120
Діаметр поліетиленового трубопроводу, мм	32
Витрата води, л/с	1,0
Енергоємність поливу при $m = 100 \text{ м}^3/\text{га}$, кВт·год/га	17,6
Продуктивність при $m = 100 \text{ м}^3/\text{га}$, га/год	0,02
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,08
Питома потужність дощу, Вт/м ²	0,09
Середній діаметр краплі дощу, мм	1,2
Схема поливу	По прямокутнику
Неполита площа, % (кути)	15
Рівномірність поливу за Крістіансенем	85
Рівномірність поливу за вітчизняною методикою:	
$K_{\text{еф.}}$	0,72
$K_{\text{над.}}$	0,10
$K_{\text{нед.}}$	0,18
Середня похибка дослідів, ±мм	0,17
Показник точності дослідів, %	5,2

Аналіз результатів дослідження дозволив визначити, що ефективний коефіцієнт зрошення, встановлений за допомогою вітчизняного підходу,

становить 0,72. Крім того, методологія Крістіансена дала рівномірність зрошення 85, що свідчить про те, що розроблений апарат демонструє чудову рівномірність зрошення. Середній розмір крапель дощу становить 1,2 мм і відповідає нормам екологічної безпеки ґрунту.

Висновки

Дослідження проводили в умовах виробництва нової розробки зрошувальної пересувної установки КОП-1, оснащеної різноманітними зрошувачами та шланговою барабанною установкою ШБУ 1,5/36. Успішно отримані первинні агротехнічні показники машин.

Кілька досліджень показали, що використання центрального зрошувача «Роза-3» (Ø18, 7, 4) у поєднанні з бічними зрошувачами «Фрегат-3» (Ø 5,6; 5,6) на КОП-1, що працює при тиску 0,5 МПа, загальна витрата установки становить 8,6 л/с, середня інтенсивність опадів 0,18 мм/хв, ефективний коефіцієнт зрошення 0,21. При застосуванні центрального спринклера «Роза-3» (Ø18, 7, 4) разом із бічними спринклерами «Роза-3» (Ø 14, 7, 4) на КОП-1 витрата установки досягає 12,9 л/с при робочий тиск 0,5 МПа, середня інтенсивність опадів 0,11 мм/хв, ефективний коефіцієнт зрошення 0,36. Крім того, встановлено, що підбір оптимальної схеми поливу та ступеня перекриття дозволяє значно підвищити коефіцієнт ефективного поливу.

При проведенні досліджень на ШБУ-1,5/36 з використанням середньострумєневого зрошувача «Фрегат-3» діаметром 6,3 і 4,8 встановлено, що інтенсивність опадів досягала 0,08 мм/хв при робочому тиску 0,35 МПа і витрата 1 л/с, а коефіцієнт ефективного зволоження становив 0,72. Для підвищення продуктивності ШБУ-1,5/36 можна оснастити трубопроводом діаметром 40 мм.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Питання охорони праці у сільськогосподарському виробництві має першочергове значення, оскільки робота з технікою та пересувними комплексами зрошування супроводжується низкою небезпек, які можуть становити серйозну загрозу для життя та здоров'я працівників. Зрошувальні системи, особливо пересувного типу, об'єднують у собі механічні вузли, гідравлічні елементи, електрообладнання та інші технічні засоби, робота з якими потребує суворого дотримання правил безпеки. В умовах польових робіт ризики підвищуються через змінність погодних умов, віддаленість від населених пунктів, складність ґрунтового рельєфу та необхідність працювати у нічний час чи в умовах обмеженої видимості.

Однією з основних небезпек під час експлуатації пересувних зрошувальних комплексів є механічні травми, що виникають унаслідок контакту працівників з рухомими частинами агрегату. Обертання валів, рух гідроциліндрів, переміщення коліс та елементів системи можуть спричинити затягування одягу, удари або защемлення кінцівок. Часто такі травми є результатом спроби усунути несправність під час роботи установки або недотримання вимог щодо використання захисних кожухів і блокувальних пристроїв. Для запобігання подібним ситуаціям необхідно зупиняти агрегат перед будь-яким втручанням у його роботу, суворо дотримуватися інструкцій з експлуатації та застосовувати індивідуальні засоби захисту, включаючи робочий одяг щільного пошиву, рукавиці та захисне взуття [15].

Важливою загрозою є і гідравлічні ризики. У процесі роботи пересувний комплекс функціонує під тиском, який у деяких випадках може перевищувати декілька атмосфер. Пошкодження шлангів або розгерметизація трубопроводу здатні призвести до раптового викиду води під високим тиском, що може стати причиною забиття, розтягнень чи навіть серйозних травм м'яких тканин. Крім

того, неконтрольований витік може призвести до підтоплення ґрунту навколо агрегату, що підвищує ризик падіння чи втрати стійкості техніки. Для зниження ймовірності подібних інцидентів слід регулярно проводити технічний огляд гідросистеми, своєчасно замінювати пошкоджені шланги та фіксатори, а також використовувати арматуру, що відповідає нормам безпечної експлуатації. Працівникам забороняється перевіряти герметичність системи руками, адже навіть невеликий струмінь води під тиском може проникнути під шкіру та спричинити тяжкі наслідки.

Окрему групу небезпек становлять електричні ризики. Багато пересувних зрошувальних установок обладнані електродвигунами, насосними станціями та системами автоматичного керування. У разі порушення ізоляції кабелів, неправильного заземлення або впливу вологи на контакти виникає ймовірність ураження електричним струмом. Враховуючи, що зрошування відбувається в умовах постійної наявності води, ризик ураження струмом у таких умовах є особливо високим. Тому під час монтажу та експлуатації обладнання необхідно забезпечити якісне заземлення, використання кабелів із підвищеним класом захисту, а також оснащення системи автоматичними вимикачами захисного відключення. Працівники, які обслуговують електрообладнання, повинні пройти спеціальну підготовку та мати відповідну групу допуску з електробезпеки. Категорично заборонено виконувати будь-які електротехнічні роботи у вологому одязі чи без спеціального захисного інструменту [16].

Важливим фактором ризику під час роботи з пересувними комплексами є вплив кліматичних умов. Висока температура повітря, інтенсивне сонячне випромінювання та фізичне навантаження створюють передумови для перегріву організму, зневоднення та теплового удару. Робота у таких умовах вимагає дотримання режиму праці та відпочинку, забезпечення доступу до питної води, використання головних уборів та легкого дихаючого одягу. Водночас дощова погода або ранкова роса створюють слизьку поверхню ґрунту, що підвищує

ймовірність падінь і травм. Тому працівники повинні використовувати взуття з протиковзкою підошвою, а також уникати переміщення агрегату по надмірно розмоклому ґрунту.

Ще однією небезпекою є шум та вібрація, що створюються двигунами та насосним обладнанням. Тривалий вплив шуму понад допустимі норми призводить до погіршення слуху, підвищеної втоми та зниження концентрації уваги, що, у свою чергу, може стати причиною аварійних ситуацій. Вібрація негативно впливає на опорно-руховий апарат і систему кровообігу. Для мінімізації цих ризиків необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту органів слуху, а також проводити регулярний технічний контроль стану обладнання, замінювати зношені вузли, що створюють надмірну вібрацію [17, 18].

Важливим аспектом є також питання безпеки при транспортуванні пересувних зрошувальних установок. Переміщення громіздких агрегатів здійснюється тракторами чи іншими транспортними засобами, що створює додаткові ризики дорожньо-транспортних пригод, особливо при пересуванні польовими дорогами, які мають низьку якість покриття. Тому необхідно забезпечити надійне кріплення агрегату, дотримуватися швидкісного режиму та правил транспортування, а також здійснювати пересування лише за наявності належної видимості.

Не менш важливою загрозою є хімічний фактор. Хоча основним робочим середовищем у зрошувальних установках є вода, у деяких випадках через систему можуть подаватися розчини добрив або пестицидів. Контакт із такими речовинами без засобів індивідуального захисту може викликати подразнення шкіри, отруєння чи алергічні реакції. Працівники, які мають справу з приготуванням і подачею робочих розчинів, повинні використовувати захисні окуляри, респіратори та хімічностійкі рукавиці. Залишки хімічних речовин слід

утилізувати згідно з вимогами екологічної безпеки, не допускаючи їх потрапляння у відкриті водойми [20].

Особливу увагу слід приділити питанню організації робочого місця та інструктажу персоналу. Кожен працівник перед початком роботи повинен пройти вступний та повторний інструктаж з охорони праці, ознайомитися з правилами експлуатації обладнання, а також знати порядок дій у разі виникнення аварійної ситуації. Робоче місце необхідно утримувати в чистоті, виключаючи можливість накопичення сторонніх предметів, які можуть заважати роботі або стати причиною падіння.

Необхідно зазначити, що важливою складовою системи охорони праці є готовність працівників до надання першої допомоги у випадку травм чи ураження струмом. У кожній бригаді повинна бути аптечка з необхідним набором медикаментів, а також працівники, які мають базові навички домедичної допомоги. Це дозволяє мінімізувати наслідки нещасних випадків до прибуття медичного персоналу.

Таким чином, охорона праці під час роботи з пересувними комплексами зрошування повинна розглядатися як комплексна система заходів, спрямованих на попередження травматизму та професійних захворювань. Вона включає технічні рішення, що забезпечують безпечну експлуатацію обладнання, організаційні заходи з підготовки персоналу, а також індивідуальні засоби захисту, які знижують ризики безпосереднього впливу небезпечних факторів. Тільки при поєднанні всіх цих складових можливо гарантувати безпеку працівників, підвищити ефективність роботи та забезпечити стабільність сільськогосподарського виробництва.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Наша команда розробила набір мобільного іригаційного обладнання, КОП-1, яке спеціально розроблено для використання як на нових, так і на вже існуючих системах зрошення. Ці комплекти обладнання здатні зрошувати сезонні площі до 15 га, забезпечуючи надійне та ефективне рішення для потреб сільськогосподарського зрошення.

Економічна ефективність утилізації та інтеграції КОП-1 повинна оцінюватися через зменшення споживання енергії під час подачі води для поливу, а також мінімізацію втрат води з поверхневим стоком.

Оцінка економічної ефективності в даному конкретному випадку не проводилась, оскільки не існує аналогів КОП-1, ціна яких становить 5-10 тис. грн.

Використання рукавних барабанних установок як аналога для площі поливу 10-15 га КОП-1 є помилковим підходом з точки зору економічності. Це пояснюється значною вартістю таких установок, яка становить приблизно 50-60 тис. грн. Тому необхідно шукати альтернативне рішення для забезпечення ефективної практики зрошення цієї території.

Враховуючи ці фактори, наш аналіз буде зосереджений на економічній ефективності виготовлення КОП-1. Наші розрахунки проводяться з використанням чинної на даний момент «Методики визначення економічної ефективності витрат, пов'язаних з науковими дослідженнями та розробками та їх інтеграцією у виробництво.

Налагодження виробництва та впровадження КОП-1 дасть суттєвий науково-технічний та економічний ефект.

Підвищення експлуатаційних параметрів при мінімізації енерго- і матеріаломісткості в порівнянні з аналогічними продуктами може призвести до отримання науково-технічного результату.

Для оцінки економічної ефективності виробництва КОП-1 ми будемо використовувати фундаментальні показники, загально визнані на світовому ринку. Ці показники включають чистий дисконтований дохід, який відноситься до прибутку, отриманого від виробництва КОП-1 після обліку часової вартості грошей. Крім того, буде враховано індекс прибутковості, який є показником прибутковості. Крім того, буде оцінено термін окупності інвестицій у реалізацію проекту. Нарешті, буде враховано внутрішню норму прибутку, показник, який використовується для оцінки потенційної прибутковості інвестицій.

Для визначення економічної ефективності виробництва КОП-1 скористаємося попередніми даними, наданими нам у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку фінансової доцільності реалізації проекту

№	Назва значення	Одиниці виміру	Величина
1	Загальні капітальні вкладення в технологію та обладнання: в тому числі в першому році реалізації проекту	тис. грн.	200
		тис. грн.	200
2	Витрати на науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи	тис. грн.	30
3	Дохід від продажу нової продукції (КОП-1) за весь період реалізації	тис. грн.	108
4	Ціна одиниці продукції	тис. грн.	5,0
5	Загальна кількість продукції	шт.	110

Початкові дані, наведені в таблиці 5.2, будуть використані для визначення кількості чистих грошових коштів, кумулятивних потоків і чистого дисконтованого доходу.

Таблиця 5.2 - Прибуток від виробництва КОП - 1 (тис. грн)

Значення	Освоєння технології та обладнання	Виробництво КОП-1						
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Чистий грошовий потік (P_t)	-200	50	100	100	100	100	100	-
Кумулятивний грошовий потік	-200	-150	-50	50	150	250	350	-
Чистий дисконтований дохід ($ЧДД$)	-172,4	37	64	55,2	47,6	41,1	35,5	108

Визначення чистого дисконтованого доходу, зокрема в термінах прибутку, регулюється формульним виразом.

$$ЧДД = \frac{P_t}{(1+d)^t}, \quad (5.1)$$

де $ЧДД$ – чистий дисконтований дохід;

t – роки реалізації інноваційно-інвестиційного проекту;

P_t – чистий грошовий потік у періоді t ;

d – норма дисконтування, $d = 0,16$.

Фінансова стійкість проекту оцінюється за встановленою формулою:

$$T_b = \frac{Z_c}{C - Z_y}, \quad (5.2)$$

де T_b – точка беззбитковості;

C – ціна одиниці продукту;

Якщо взяти до уваги вартість підшви комплекту КОП-1, яка оцінюється в 5,0 тис. грн., та відповідні значення Z_c і Z_u , які становлять 2,5 тис. грн., 1,2 тис. грн., то можна зробити висновок, що T_b – це еквівалентно 0,66 або 66%.

Індекс, що вимірює рентабельність, також відомий як прибутковість, розраховується як співвідношення чистого дисконтованого доходу CDD та

одноразових і капітальних витрат, необхідних для виробництва КОП-1. Цей розрахунок визначається за допомогою такої формули:

$$ID = \frac{ЧДД}{ДВІ}, \quad (5.3)$$

де ID – індекс дохідності;

$ДВІ$ – дисконтована вартість інвестицій в інновації.

Замінивши числові значення ЧДД на 108 тис. грн і ДВІ на 230 тис. грн, досягнемо значення ID , що дорівнює 0,46. Тому реалізація КОП-1 виробничий проект розраховано як прибутковий, з прогнозованою рентабельністю 46%.

Період часу, необхідний для окупності початкових інвестицій у проект за рахунок накопичення матеріальних коштів у результаті виробництва та реалізації КОП-1, називається терміном окупності інвестицій.

Визначення періоду окупності здійснюється за допомогою формульного виразу.

$$T = \frac{P}{ЧДД}, \quad (5.4)$$

Вставивши відповідні числові значення у формулу 5.4, було визначено, що погашення проектних витрат може бути досягнуто протягом 2,2 років.

Збільшивши виробництво КОП-1 до діапазону 50-100 одиниць на рік і кумулятивно виробляючи суму в 550 одиниць між 2017 і 2021 роками, можна очікувати наступних результатів:

Конкретна вартість інвестиції, позначена змінною « R », оцінюється в 330 000 грн.

За нашими підрахунками, чистий дисконтований дохід, також відомий як ЧДД, становить 1 144 000 грн.

Часова величина окупності, яку зазвичай називають періодом окупності, становить $T = 3,5$ року.

Провівши порівняння рівномірності поливу між трьома різними системами розподілу дощу, які використовуються в барабанних установках, ми змогли оцінити економічну ефективність установки ШБУ-1,5/36. Наші розрахунки дозволили нам визначити, що розроблена система дійсно ефективна з економічної точки зору.

Результати досліджень показали, що впровадження схеми розміщення, а також використання спеціальних спринклерних форсунок призвело до підвищення рівня рівномірності розподілу опадів. Наші розрахунки враховують площу поверхні, призначену для сезонного зрошення за моделлю ШБУ-1,5/36, і ми припускаємо, що ця площа залишається постійною на рівні 2 га для всіх варіантів систем розподілу дощу.

Визначення щорічного економічного впливу, який виникає внаслідок підвищення рівномірності та якості зрошення, визначається шляхом застосування формули, заснованої на методології, викладеній у посиланні [20].

$$E_k = 0,01 \cdot (Y_n - Y_b) \cdot C \cdot F, \quad (5.5)$$

Рівень урожайності, позначений U_b та U_n , залежить від значення ефективного коефіцієнта зрошення та типу використовуваної системи зрошення. Зокрема, U_b відповідає рукавно-барабанним установкам із спринклерами середнього потоку, а U_n – розвинутій консолі. Ці показники виражаються у відсотках.

Значення C є репрезентативним для середньої вартості валової сільськогосподарської продукції в українських гривнях на гектар зрошуваної землі.

Площа сезонного зрошення ШБУ позначається символом F і вимірюється в гектарах.

Щоб оцінити економічну віддачу овочевих культур, зокрема моркви та капусти, ми проведемо ретельний аналіз. Важливо враховувати середню врожайність цих культур, яка за оцінками становить 80 і 100 т/га відповідно при

зрошенні. За допомогою розрахункової оцінки ми прагнемо визначити точний економічний ефект цих культур.

Під час визначення економічного впливу ШБУ капітальні та операційні витрати, пов'язані зі зрошенням, залишалися незмінними для всіх варіантів і, отже, не були враховані в аналізі. Була використана ціна реалізації продукції 2021 року, морква – 4 тис. грн/т, капуста – 3,5 тис. грн/т.

Таблиця 5.3 надає попередні дані для обчислення та фінансового впливу підвищення однорідності зрошення для окремих категорій вдосконалених спринклерних систем.

При вирощуванні таких культур, як морква та капуста, використання ШБУ в поєднанні з консоллю дає річний економічний ефект 6,4 та 7,0 тис. грн/га відповідно, у порівнянні з ШБУ, який оснащений серійним середньоструменевим дощувачем.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку економічної доцільності реалізації проекту

Тип дощувальної установки	Коефіцієнт ефективного поливу	Рівень урожайності U_6 , %	Сезонна площа зрошення, га	Річний економічний ефект на машину при вирощуванні, грн*		Економічний ефект при вирощуванні, грн /га*	
				моркви	капусти	моркви	капусти
ШБУ з серійним середньоструменним апаратом	0,7	100	2	-	-	-	-
ШБУ з вітростійким середньоструменним апаратом	0,75	101	2	6400	7000	3200	3500
ШБУ з секторними насадками на консолі	0,82	102	2	12800	14000	6400	7000

При капіталовкладеннях 230 тис. грн на виготовлення 110 одиниць КОП-1 термін окупності становить 2,2 роки. Крім того, прогнозується чистий дисконтований дохід у розмірі 108 000 грн.

ВИСНОВКИ

Завдяки аналізу сучасних іригаційних технологій та інструментів було виявлено потенційні шляхи для розробки нової, економічно ефективною мобільної іригаційної технології. Ці вдосконалення будуть особливо корисні в невеликих господарствах. Науковим колективом також створені лабораторні методики та стенди для визначення агротехнічних показників і параметрів засобів зрошення та їх основних робочих частин.

Наукові дослідження гідравлічних приводів, зокрема поршневих і мембранних типів, підтвердили, що гідравлічний привод мембранного типу придатний для використання в установках шлангових катушок із використанням поліетиленових трубопроводів діаметром 32 мм, довжина яких становить 200 метрів. Така придатність досягається при роботі приводу при тиску 0,35 МПа.

Дослідження показали, що застосування кругових спринклерних форсунок рекомендовано для мобільних дощувальних машин фронтальної дії та мобільних ферм рукавно-барабанних установок. Це особливо корисно, коли для видалення твердих часток використовуються засоби для очищення води. Зокрема, для форсунок виробництва ПІМ УААН рекомендується використовувати діаметр більше 2,5 мм, а для форсунок виробництва ТОВ «Техносервіс» – більше 1,5 мм.

З метою покращення ефективності зрошувальних мереж та підвищення коефіцієнта використання земель розроблено протоколи використання та роботи мобільних зрошувальних установок із круговими та фронтальними дощувальними машинами «Centerstar» та «Linestar». Ці схеми були розроблені для оптимізації коефіцієнта використання землі та підвищення загальної продуктивності зрошувальної мережі.

Дослідженнями встановлено, що з метою зменшення енерговитрат при поливі шляхом подачі води по поліетиленовому трубопроводу діаметром 75 мм до спринклерної системи довжина трубопроводу не повинна перевищувати 200 м. Додатково встановлено, що втрати напору по довжині трубопроводу при

витраті 13 л/с становлять 20 м. У разі використання трубопроводу діаметром 90 мм допустима довжина трубопроводу досягає 450 м, а втрати напору при витраті 13 л/с становлять 18 м. Таким чином, діаметр трубопроводу відіграє важливу роль у визначенні максимально допустимої довжини трубопроводу та втрати напору, що виникає при даній витраті.

Аналіз розробленої мобільної зрошувальної установки КОП-1 показав, що при роботі з робочим тиском 0,5 МПа, витратою води 8,6 л/с, швидкістю вітру 4,0 м/с середня інтенсивність опадів становить 0,18 мм/с. хв, з ефективним коефіцієнтом зрошення 0,21. Так само при роботі під тиском 0,5 МПа, витраті води 12,9 л/с, швидкості вітру 2,5 м/с середня інтенсивність опадів 0,11 мм/хв, ефективний коефіцієнт зрошення 0,36. Ці висновки свідчать про те, що зрошувальний набір КОП-1 здатний забезпечити ефективне та ефективне зрошення за різних умов навколишнього середовища.

Розробка ШБУ-1,5/36 передбачає, що для зменшення енерговитрат на полив максимальна витрата води водонамотувачем не повинна перевищувати 1 л/с при використанні поліетиленової труби діаметром 32 мм, а при діаметрі труби 40 мм — 2 л/с. Дослідження ШБУ-1,5/36 показали, що за робочого тиску 0,35 МПа, витрати води 1 л/с, швидкості вітру 1,0 м/с та інтенсивності опадів 0,08 мм/хв ефективний коефіцієнт зрошення становить 0,72.

Визначено, що капітальні вкладення у розмірі 230 тис. грн. для виготовлення 110 одиниць КОП-1 матимуть термін окупності інвестицій 2,2 роки та чистий дисконтований дохід 108 тис. грн.

При вирощуванні моркви та капусти річна економічна вигода від застосування консолі для покращення рівномірності поливу в ШБУ становитиме відповідно 6,4 та 7000 грн./га порівняно з ШБУ, оснащеними спареними середньопоточними форсунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Różewicz, M. (2022). Review of current knowledge on strip-till cultivation and possibilities of its popularization in Poland. *Polish Journal of Agronomy*, 49, 20-30. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.488.2022.49.03>
2. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Кюрчев, В., & Камінський, В. (2022). Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. *Вісник аграрної науки*, 100(10), 29-36.
3. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., & Skibchuk, V. (2020). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, (24), 77-82.
4. Бакляк, І. В. (2021). ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*, 465.
5. Адамчук, В., Камінський, В., Булгаков, В., & Надикто, В. (2022). Теоретичне дослідження та розроблення нового показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 57-63.
6. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Троханяк, О., & Чорна, Т. (2023). Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*, 101(5), 57-64.
7. Товстенко, В. (2021). Удосконалення технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного парку в майстерні фермерського господарства «Славутич» Веселівського району Запорізької області: пояснювальна записка до дипломної роботи здобувача СВО Бакалавр.
8. Домущі, Д. П., Яковенко, А. М., Осадчук, П. І., Ліпін, А. П., Житков, С. С., & Павлішин, П. М. (2020). РЕМОНТ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ: навч. посібн.: у 2-х кн.–Кн. 1.

9. Іванов, Б. О., & Тітова, Л. Л. (2022). СТАН СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НАДІЙНІСТЬ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ. *Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «HSEAgro–2022»*. 8-9 лютого 2022 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Промислова безпека», Державна служба України з питань праці. Київ. 2022. 186 с., 119.

10. Бабій, А. В., Вовк, І. В., & Бабій, В. А. (2024). Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем, 9.

11. Romaneckas, K. (2022). Sustainable tillage and sowing technologies. *Agronomy*, 12(10), 2467. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102467>

12. Yang, W., He, J., Lu, C., Lin, H., Yang, H., & Li, H. (2023). Current situation and future development direction of soil covering and compacting technology under precision seeding conditions in China. *Applied Sciences*, 13(11), 6586. <https://doi.org/10.3390/app13116586>

13. Сіренко, Ю. В., & Сілюченко, В. М. (2022). ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р.)/ТДАТУ: ред. кол., СВ Кюрчев, ВМ Кюрчев, ВТ Надикто, ОГ Скляр [та ін.]*.— Запоріжжя: ТДАТУ, 2022.—239 с. У збірнику представлені матеріали міжнародної науково-практичної, 56.

14. Барабаш, Р. І. (2021). *Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ* (Doctoral dissertation, Львівський національний аграрний університет).

15. Труханська, О. О. (2020). Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.-Вінниця, 2018.-№ 3 (102)-С. 52-61.*

16. Кобець, А. С., Теслюк, Г. В., Пугач, А. М., Золотовська, О. В., Лепеть, Є. І., & Бойко, В. Б. (2025). Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва.

17. Грицаєнко, Г. І., & Грицаєнко, І. М. (2020). РОЗВИТОК АГРАРНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА РИНКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 105.*

18. ПАТРАШКУ, О., & БРАЦЛАВЕЦЬ, Б. (2023). Підвищення ефективності функціонування машин та обладнання АПК за рахунок управління надійністю їх систем. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences, 323(4), 236-241.*

19. Устюянов, П. Д., Домуші, Д. П., Супрунюк, В. П., & Гуславський, А. В. (2022). ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ ТЕХНІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та, 309.*

20. Лесюк, В. С., & Калініченко, О. В. (2020). ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 274.*

ДОДАТКИ

Додаток А