

Визначення параметрів використання водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм

Анотація. Основним завданням систем водопостачання є розширення технологічних можливостей процесу водопостачання, підвищення його надійності, зниження його капітальних і експлуатаційних витрат, спрощення проектування. Метою статті є визначення оптимальних параметрів використання запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм. Дослідження проводилися в лабораторних умовах з подальшим використанням методів математичної статистики. До критеріїв оптимізації використання запропонованої конструкції водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм відносяться кількість витрати води та швидкість руху потоку. У статті встановлено найбільш оптимальні конструктивно-технологічні параметри водопідйомного обладнання, а саме: висота напору; об'єм транзитних резервуарів; діаметр трубопроводу; довжина трубопроводу. Принцип дії запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання для використання в умовах тваринницьких ферм заснований на підвищенні необхідного тиску для водопровідної мережі шляхом прямого багаторазового використання сил гравітації у вигляді ваги стовпа рідини від природного або штучного тиску. Визначено співвідношення критеріїв оптимізації процесу використання водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм та оптимальних конструктивно-технологічних параметрів запропонованого рішення. Використання технології із дотриманням рекомендованих конструктивно-технологічних параметрів вирішить проблему підвищення якості водопостачання споживачів в умовах тваринницьких ферм, зниження енерговитрат при роботі системи водопостачання та підтримання необхідного тиску у водопровідній мережі

Ключові слова: механізація господарств, ферми, оцінка якості технологічного процесу, тваринництво, конструктивно-технологічні параметри

Вступ

Однією з найважливіших проблем в умовах тваринницьких ферм є створення сучасної системи водопостачання. Системи водопостачання – це складні інженерні споруди, що забезпечують як водопостачання споживачів, так і водовідведення та очищення стічних вод. Використання систем водопостачання потребує великих витрат енергії, тому створення систем, які сприятимуть енергозбереженню, є необхідним для розвитку галузі в країні.

За умови використання ефективної системи водопостачання підвищується продуктивність тваринницьких ферм. Витрати води на молочних і відгодівельних фермах можуть досягати кількох тисяч кубометрів. Для створення оперативних запасів води використовуються водонапірні башти, наповнення яких потребує значних енерговитрат.

Таким чином, завданням систем водопостачання є розширення технологічних можливостей процесу водопостачання, підвищення його надійності, зниження його капітальних і експлуатаційних витрат, спрощення проектування. Тому пропонується виконувати процес збільшення тиску самопливом у вигляді ваги стовпа рідини необхідної висоти реалізацією системи гравітаційного водопідйомного обладнання, що забезпечує автоматичний процес повторного використання тиску, який існує в системі водопостачання тваринницьких ферм.

Наведені дані демонструють тенденцію до скорочення поголів'я в тваринницьких фермах України [1]. Дослідник О. Захарченко проаналізував кількісний склад та динаміку поголів'я тварин та птиці та, зважаючи на це, розрахував обсяги використаної технічної води у тваринництві та птахівництві [2]. Оскільки вартість енергії продовжує зростати, розробка більш ефективного обладнання сприятиме енергозбереженню [3]. Функціонування ферм з

відгодівлі ВРХ базується на відповідності технічних характеристик тваринницьких об'єктів сучасним вимогам та ефективності виробництва продукції [4]. Під час розроблення технічних рішень ферм для відгодівлі ВРХ повинні бути враховані ключові аспекти щодо нормативних вимог ЄС [5].

Розглянемо точки зору на досліджувану проблему закордонних дослідників. М. Алі визначав можливості для зменшення енергоспоживання насосної системи за допомогою розумного проектування, модернізації та експлуатації [6]. Автори П. Раджкова & З. Кубік проаналізували зв'язок між механізацією ферми та потребою в робочій силі, підвищення рівня механізації господарств зменшує попит на найману працю [7]. Автори Ю. Жанг, Х. Лу, Х. Жанг визначали, що всмоктування грубих твердих частинок у гідравлічному колекторі є ефективним в контексті роботи з частинками різної густини [8]. Стаття Ж. Кьян, Ж. Гао, К. Хоу представляє комплексний огляд прогресу, досягнутого за останні роки щодо кавітації в клапанах, включаючи контрольні клапани [9]. У статті Р. Арьял, З. Докоу, Р. Малла, А. Багтжоглоу представлено напіваналітичну модель, яка полегшує оптимальне проектування малих гідроенергетичних систем, щоб максимально можливу енергію можна було зібрати за умов низького напору та потоку в руслових умовах [10]. Е. Катсуно наводить декілька практичних застосувань у механіці рідини, спрямованих на зменшення розсіювання енергії шляхом зменшення опору або падіння тиску [11]. Тим не менш, при адаптації та застосуванні методологій енергетичного порівняльного аналізу в інших місцях необхідно враховувати фактори, що стосуються окремих ділянок, такі як різні умови скидання, топографічні граничні умови, об'єм і склад стічних вод, і ці фактори повинні враховуватися спеціалістами-практиками під час оцінки енергетичного порівняльного аналізу [12]. Розвиток водних ресурсів, особливо гідроенергетики, є важливим джерелом відновлюваної енергії. У роботі Ф. Тіан цей зв'язок досліджувався з використанням даних про будівництво водосховищ, використання гідроенергії та води [13]. Інструменти моделювання водної інженерії та математичні інструменти надають інформаційний ресурс для практиків, які хочуть дізнатися більше про різні методи та моделі водної інженерії та їх практичне застосування та тематичні дослідження [14].

Пристрій для підйому води [15], запропонований дослідниками Ю.Ф. Самедовим, & Є.С. Стрілецьким відрізняється тим, що труба для підйому води у верхній частині має розширену частину, яка розташована на висоті 10 метрів. У нижній частині труби для підйому води розміщений запірний кран, який знаходиться нижче рівня води в джерелі постачання. До недоліків пристрою можна віднести той факт, що висота підйому води обмежується, на неї впливає величина перепаду рівня води.

Також відомий пристрій для підйому і подачі води [16], запропонований винахідниками Д.Г. Парменовою & Г.Г. Делігіоз. Він оснащений додатковим трубопроводом із насосом. Сифонний трубопровід містить засувку, яка встановлена на його зливному кінці перед наповнюваним резервуаром або джерелом живлення. Сифонний трубопровід з'єднаний з додатковою засувкою з резервуаром, що наповнюється. Але конструктивні розміри пристрою обмежують довжину шляху транспортування води.

Авторами досліджено окремі сільськогосподарського виробництва [17] та математичного моделювання технології переробки сільськогосподарської продукції [18], але визначення ефективності використання водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм не було спеціальним предметом дослідження.

Аналіз літературних і патентно-інформаційних джерел, присвячений проблемі використання водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм дає можливість зробити висновок, що:

✓ відсутність сучасного водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм не дозволяє в повній мірі реалізувати можливість їх забезпечення простими в експлуатації та енергоефективними системами;

✓ вивчення відомих рішень обладнання для підймання води, дає можливість зробити висновок про те, що функціонування системи стає можливим тільки при умові створення постійного необхідного напору води в подаючому трубопроводі.

✓ в літературних джерелах обмежена кількість технічно обґрунтованих конструктивних рішень систем забезпечення споживача водою в умовах недостатнього напору з джерела водопостачання.

Таким чином, задачею систем забезпечення водою тваринницьких ферм є розширення технологічних можливостей процесу водопостачання, підвищення його надійності, зниження його капітальних та експлуатаційних витрат, спрощення конструктивного виконання.

Для її вирішення пропонується впровадження конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм, оснащеного пристроєм, що забезпечує автоматичний процес багаторазового використання напору, який існує в системі для подачі води споживачу.

Задача запропонованого авторами конструктивного рішення – підвищення коефіцієнту корисної дії за рахунок зменшення витрат енергії систем постачання води, забезпечення оптимального напору в мережі водопроводу та поліпшення якості забезпечення споживачів водою.

Метою статті є визначення параметрів використання запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм, проведенні експериментальних досліджень та доведенні ефективності використання подібних пристроїв в умовах сільського господарства.

Матеріали та методи

При вирішенні поставлених завдань дослідження використовувалися методи фізики, гідравліки, аналізу та моделювання. Методи фізики і гідравліки були використані для дослідження закономірностей руху рідини з використанням рівняння балансу питомої енергії рухомої рідини в трубі. Процес підйому води за допомогою запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм базується на використанні в сукупності одного процесу трьох законів: основного закону гідростатики, закону Бойля-Маріотта із газодинаміки і закону сполучених посудин з рідиною. Гідравлічні залежності застосовувалися для визначення необхідного обсягу споживання води і швидкості руху потоку рідини. У випадку з запропонованим конструктивним рішенням водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм, розглянуто закон руху рідини в проміжку від однієї транзитної ємності до другої. З цією метою розглядається закономірність руху рідини з використанням рівняння балансу питомої енергії рухомої рідини в трубі (рівняння Д. Бернуллі). Для раптового розширення трубопроводу, коли трубопровід з меншим діаметром переходить у трубопровід з більшим діаметром втрати напору при раптовому розширенні трубопроводу визначалася за формулою Борда. Спираючись на ці залежності, теоретично визначено площу діаметру трубопроводу.

При проектуванні лабораторної установки використовувалася довідникова література для інженерів-технологів і установок [19], операторів водоочисних установок і екологічних консультантів [20]. Також виконаний аналіз основних досягнень техніки в проектуванні водопідйомних пристроїв з акцентом на сучасні технології гідротехніки [21].

Дослідження технологічних параметрів водопідйомного обладнання проводили в лабораторних умовах методами математичної статистики [22] з обробкою даних на ПК. Експериментальні дослідження підйому води водопідйомним обладнанням проводились на спеціально розробленій установці. Програма експериментальних досліджень передбачає перевірку конструктивної схеми водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм, визначення якісних показників технологічного процесу (висота стовпа рідини; об'єм транзитних резервуарів; діаметр труби; довжина труби) за такими критеріями оптимізації: обсяг споживання води, швидкість руху потоку. Оптимізація конструктивних і технологічних параметрів проводилась за допомогою повного факторного експерименту.

Побудова двомірних перетинів функції відгуку виконувалася в наступній послідовності:

- визначалися значущі чинники в найменшій мірі впливаючи на критерії оптимізації;
- чинники, що в найменшій мірі впливають на технологічний процес прирівнювалися до нуля, причому число значущих чинників не повинне перевищувати двох; в іншому випадку дослідження поверхні відгуку на двомірній площині неможливе;
- взявши похідні по кожному з двох чинників, що залишилися, знаходився центр поверхні відгуку, де визначалася величина критерію оптимізації; у разі відсутності центра або його знаходженні поза зоною експерименту центр вміщувався в зоні оптимального поєднання чинників;
- рівняння регресії приводилося до канонічної форми, після чого будувалися контурні криві двомірних перетинів;
- по чергово прирівнюючи фактори до нуля, лишаючи нерівними нульовому значенню будь-які два інші отримуємо рівняння регресії для величини обсягу споживання води та швидкості руху потоку.

Результати та обговорення

Теоретичне обґрунтування застосування запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм

Процес підйому води в запропонованому конструктивному рішенні водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм базується на використанні в сукупності одного процесу трьох законів: основного закону гідростатики, закону Бойля-Маріотта із газодинаміки і закону сполучених посудин з рідиною [23]. Саме ця сукупність законів дозволила створити систему запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм. При чому сила гравітаційної дії виступає в вигляді ваги стовпа рідини (\mathcal{M}), яка рівна напору, тобто сила гравітаційної дії F рівна:

$$F = \frac{m_1 M_2}{r^2} \gamma_{\text{гр.ст.}}, \quad (1)$$

де, m_1 – вага стовпа рідини, кг; M_2 – вага землі, кг; r – відстань між центрами ваги, м; $\gamma_{\text{гр.ст.}}$ – гравітаційна стала.

Основне рівняння гідростатики встановлює зв'язок між гідростатичним тиском у точці рідини, її місцем знаходження (координатами) в рідині та густиною останньої. Воно є рівнянням прикладного характеру, за його допомогою в інженерній практиці знаходиться гідростатичний тиск у будь-якій точці рідини.

Для обґрунтування основного рівняння гідростатики розглянемо випадок, коли рідина в стані рівноваги знаходиться в посудині й на неї діє тільки сила ваги. У цьому випадку проекції масових сил на осі координат, віднесені до одиниці ваги, будуть відповідно дорівнювати:

$$x = 0, y = 0, F_z = -g. \quad (2)$$

Підставимо значення проекцій у рівняння $dp = \rho(F_x dx + F_y dy + F_z dz)$, отримуємо залежність:

$$dp = -\rho g dz \quad (3)$$

Про інтегрувавши це рівняння з умовою, що $\rho = const$ і що в межах об'єму рідини, який розглядається, можна знехтувати зміною прискорення вільного падіння, тобто $g = const$, отримуємо:

$$p = -\rho g z + c \quad (4)$$

де c – довільна постійна.

Розділивши рівняння (4) на ρg , отримаємо:

$$z + \frac{p}{(\rho g)} = const \quad (5)$$

Розділивши рівняння (4) на ρ , отримаємо:

$$gz + \frac{p}{\rho} = const \quad (6)$$

Відзначимо, що члени рівняння (5) віднесені до одиниці ваги, а (6) – до одиниці маси. Граничні умови на поверхні рідини відомі: $z = z_0$ і $p = p_0$, тоді:

$$c = z_0 + \frac{p_0}{(\rho g)} \quad (7)$$

Підставивши цей вираз для постійної інтегрування у формулу (4), отримаємо:

$$\frac{z_0 + p_0}{(\rho g)} = \frac{z + p}{(\rho g)} \quad (8)$$

Рівняння (8) називають основним рівнянням гідростатики.

З рівняння (8) витікає:

$$p = p_0 + \rho g(z_0 - z), \quad (9)$$

тобто що тиск в рідині, яка знаходиться в стані рівноваги, більше тиску на поверхні на величину, яка дорівнює вазі стовпа рідини над цією точкою. Оскільки $z_0 - z = h$, формула (9) набере вигляду:

$$p = p_0 + \rho g h \quad (10)$$

де p – абсолютний тиск у точці; p_0 – тиск на вільній поверхні; h – глибина занурення точки в рідині; ρ – густина води; g – прискорення вільного падіння.

Рівняння (10) називається основним рівнянням гідростатики для абсолютного тиску. Таким чином, згідно з рівнянням (10), тиск у точці рідини, яка знаходиться в стані рівноваги на глибині h під вільною поверхнею, дорівнює сумі тиску на вільній поверхні p_0 (у відкритих посудинах він дорівнює атмосферному) і тиску, обумовленому вагою стовпа рідини, розташованої вище точки, тобто $\rho g h$.

У відкритих посудинах звичайно враховується тільки тиск $\rho g h$, а атмосферний тиск взаємно врівноважується, і рівняння (10) набере вигляду:

$$p = \rho g h \quad (11)$$

Рівняння (11) є основним рівнянням гідростатики для надлишкового тиску. Таким чином, надлишковий тиск у будь-якій точці всередині рідини виникає тільки від ваги її стовпа, розташованого над точкою.

Враховуючи, що $p = \rho g h$, звідки $h = \frac{p}{\rho g}$, і враховуючи рівняння (10), отримаємо:

$$p = p_0 + \rho gh - p_a = (p_0 - p_a) + \rho gh = \Delta p + \rho gh, \quad (12)$$

де $\Delta p = p_0 - p_a$.

Таким чином, у цьому випадку, як і для запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм, надлишковий тиск у будь-якій точці рідини створюється як вагою стовпа рідини, так і надлишковим тиском на вільній поверхні, значення якого Δp .

Згідно закону Бойля-Маріотта:

$$PV = const \quad (13)$$

(де P – тиск повітря в визначеному об'ємі V), створені умови отримання необхідного ступеню стиснення атмосферного повітря в герметичному об'ємі базової ємності запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм (компресор).

Третім законом процесу підйому води в запропонованому конструктивному рішенні водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм являється закон сполучених посудин з рідиною, який дає обґрунтування рівновазі рідин в сполучених посудинах.

Як відомо сполученими називаються посудини, які з'єднані між собою гідро лініями або елементами конструкцій. Розглянемо систему, яка складається з двох сполучених посудин, заповнених двома різними рідинами, які не змішуються, а на вільній поверхні рідини в них діють тиски p_1 та p_2 , які не однакові між собою.

Питома вага рідин теж різна – у першій посудині γ_1 , а в другій γ_2 .

Приймемо площу порівняння 0-0 на рівні поверхонь розділу рідин, тоді положення вільних поверхонь рідини в посудинах відносно неї будуть h_1 і h_2 .

Згідно з основним рівнянням гідростатики, тиск у будь-якій точці рідини на рівні площини порівняння в першій посудині буде $p = p_1 + \gamma_1 h_1$, а в другій - $p = p_2 + \gamma_2 h_2$. Оскільки система (рідина) знаходиться в рівновазі, то ці тиски будуть однаковими, тобто

$$p_1 + \gamma_1 h_1 = p_2 + \gamma_2 h_2 \quad (14)$$

У випадку з запропонованим конструктивним рішенням водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм, нас цікавить подача рідини на більш високий рівень. А для цього потрібно розглянути закон руху рідини в проміжку від однієї транзитної ємності до другої. З цією метою розглядається закономірність руху рідини з використанням рівняння балансу питомої енергії рухомої рідини в трубі (рівняння Д. Бернуллі), тому необхідно звернутися до методів фізики та гідравліки. Вирішуючи питання рухомого потоку в трубах, між транзитними ємностями, визначаємо, використовуючи відомі гідравлічні залежності, необхідну для споживача обсягу споживання води і швидкості руху потоку рідини. Згідно з теоремою механіки тут розглядається рівняння про зміну кінетичної енергії рухомого тіла, в якому її різниця рівна сумі робіт всіх сил які діють на рухоме тіло, при цьому переміщенні. При цьому саме рівняння для ідеальної рідини записується так:

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} = const, \quad (15)$$

де z – питома енергія положення рідини; $\frac{p}{\rho g} = \frac{p}{\gamma}$ – питома енергія тиску; $\frac{U^2}{2g}$ – питома кінетична енергія рухомої рідини.

Отже застосуємо приведені вище рівняння до запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм. Для чого розглянемо просту математичну модель в вигляді системи, яка складається з першої та другої транзитних ємностей, з нижнім перерізом 1-1 та вищим перерізом 2-2.

Для перерізів 1-1 та 2-2 застосуємо рівняння Бернуллі отримаємо:

$$H_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = H_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + h_w; \quad (16)$$

де $H_1 = 0$ – напір в перерізі 1-1; $H_2 = H_1$ – напір в перерізі 2-2; так як відстань між транзитними ємностями є малою, тому нею можна знехтувати, отже отримаємо: $H_1 - H_2 = 0$; $\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = 0$, так як $P_1 = P_2 = P_{\text{атм.}}$; $\frac{U_1^2}{2g} = 0$ – питома кінетична енергія в перерізі 1-1, так як $U_1 = 0$; – напір; $h_w = h_l + h_m$ – загальні втрати напору; h_l – втрати напору по довжині; h_m – місцеві втрати напору.

Тоді напір рідини в трубопроводі між транзитними ємностями буде знаходитись по формулі:

$$; \quad (17)$$

де, по формулі Борда $h_w = \xi_w \cdot \frac{U^2}{2g}$ – втрати напору; де ξ_w – коефіцієнт опору системи,

$$, \quad (18)$$

тут – коефіцієнт опору при вході; – коефіцієнт опору при виході; $\lambda \frac{l}{d}$ – втрати напору по довжині трубопроводу, де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя труби; l – довжина труби; d – діаметр труби. U – середня швидкість руху рідини в перерізі за місцевим опором.

Так для раптового розширення трубопроводу, коли трубопровід з меншим діаметром переходить у трубопровід з більшим діаметром втрати напору при раптовому розширенні трубопроводу визначаються за формулою Борда:

$$h_{pp} = \frac{(U_1 - U_2)^2}{2g}, \quad (19)$$

де U_1 і U_2 - середні швидкості руху рідини в перерізах відповідно 1-1 і 2-2.

Знайдемо коефіцієнт місцевого опору через середні швидкості U_1 або U_2 .

З урахуванням рівняння нерозривності потоку $U_1 \omega_1 = U_2 \omega_2$ втрати напору в залежності від швидкостей U_1 і U_2 дорівнюють:

$$h_{pp1} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \cdot \frac{U_1^2}{2g}; \quad h_{pp2} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \cdot \frac{U_2^2}{2g}. \quad (20)$$

Звідки коефіцієнти місцевого опору дорівнюють:

$$\xi_{pp1} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad \xi_{pp2} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \quad (21)$$

Так для раптового звуження трубопроводу, при цьому трубопровід з більшим діаметром переходить у трубопровід з меншим діаметром.

Коефіцієнт місцевого опору ξ_{pz} при $d_2 < 0,5d_1$ знаходиться за формулою:

$$\xi_{pz} = 0,5 \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2} \right) \quad (22)$$

Випадок входу з резервуара в трубу схожий з раптовим звуженням, а тому тут можна застосувати формулу (22) і при $d_2 \ll d_1$, тобто $d_2 \approx 0$, $\xi_{BX} = 0,5$.

Тоді рівняння Бернуллі прийме вигляд:

$$H_{розн} = \frac{U^2}{2g} \cdot (1 + \xi_w); \quad (23)$$

Вирішуючи це рівняння відносно швидкості отримуємо:

$$U = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_w}} \cdot \sqrt{2g \cdot H_{розн}}; \quad (24)$$

де $\frac{1}{\sqrt{1 + \xi_w}} = \varphi$ – коефіцієнт швидкості (для труб $\varphi = \mu = 0,61$).

Отже рівняння для швидкості прийме вигляд:

$$U = \varphi \cdot \sqrt{2g \cdot H_{розн}}; \quad (25)$$

Тоді з рівняння нерозривності:

$$U_1 \cdot \omega_1 = U_2 \cdot \omega_2 = Q = const; \\ \text{Знаходимо розхід} - Q = U \cdot \omega. \quad (26)$$

Підставивши в Q значення U маємо:

$$Q = 0,61 \cdot \omega \cdot \sqrt{2g \cdot H_{розн}}, \quad (27)$$

де ω – площа поперечного перерізу труби.

Отримані рівняння, також застосовуються і для всіх наступних транзитних ємностей системи гравітаційного водопідіймача. В результаті теоретичного аналізу процесу підйому води за допомогою запропонованого конструктивного рішення водопідійомного обладнання в умовах тваринницьких ферм було обґрунтовано що, процес підйому води базується на використанні в сукупності одного процесу трьох законів: основного закону гідростатики, закону Бойля-Маріотта із газодинаміки і закону сполучених посудин з рідиною. Також було встановлено, що основними критеріями оптимізації за якими оцінювалася якість виконання технологічного процесу були: обсягу споживання води і швидкості руху потоку рідини.

Принцип дії запропонованого конструктивного рішення водопідійомного обладнання в умовах тваринницьких ферм

Принцип роботи водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм заснований на підвищенні необхідного напору для водопровідної мережі за рахунок використання стовпа рідини від напору, створеного природним або штучним шляхом, з використанням сил гравітації. Штучний напір може бути отриманий в результаті використання водопровідної мережі, яка потребує задоволення потреб споживачів, в той час як природний напір отримують за рахунок використання перепадів стовпа води у водоймах.

Для пояснення принципу дії водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм додається рисунок (Рис.1).

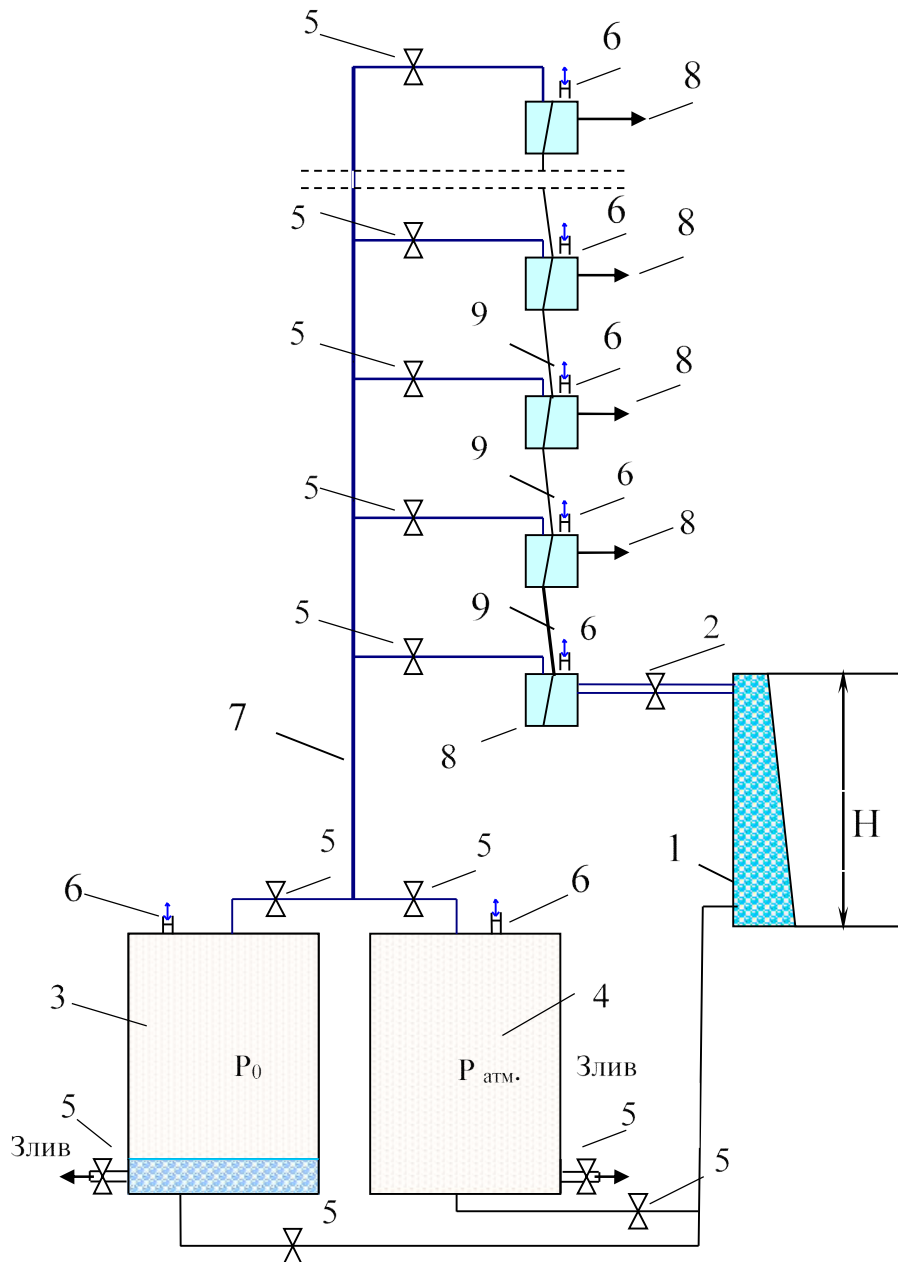


Рисунок 1. Схема водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм
 1-напірний бак, 2-кран для заповнення водою транзитної ємності, 3-базова ємність права,
 4-базова ємність ліва, 5-кульковий або гвинтовий кран, 6-клапан для герметизації або
 розгерметизації, 7-трубопровід компресійного атмосферного повітря, 8-транзитні
 резервуари, 9-напірні магістралі

Джерело: представлено автором

Процес роботи водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва здійснюється наступним чином. Через кран для заповнення водою транзитної ємності 2, з напірного баку 1 водою заповнюється транзитний резервуар 8 і герметизується за допомогою клапана для герметизації або розгерметизації 6. Одночасно з цим права базова ємність 3 герметизується і заповнюється водою через кульковий або гвинтовий кран 5, створюючи при цьому в ній тиск стисненого повітря $P_0 = P_{\text{атм.}} + \gamma h$, де γ - питома об'ємна вага води, а h – висота стовпа води напорі H . Потім через кульковий або гвинтовий кран 5 стиснене повітря з правої базової ємності 3 надходить в трубопровід компресійного атмосферного повітря 7, а потім через клапан для герметизації або розгерметизації 6 в транзитний резервуар 8, з якого вода виштовхується стисненим повітрям по напірній магістралі 9, в транзитний резервуар 8 і заповнює її, а в подальшому відбувається повторення циклу виштовхування води з транзитної ємності 8, тобто після заповнення її водою вона також герметизується тільки з допомогою клапану для герметизації або розгерметизації 6. В наступних транзитних резервуарах процес заповнення і виштовхування води відбувається за описаним вище принципом. При цьому кожна прохідна ємність пристрою для підйому води, починаючи з другої, забезпечує на конкретному рівні її підйому величину напорі води $H = \gamma h$.

З метою забезпечення постійності і безперервності подачі стисненого повітря в трубопровід компресійного атмосферного повітря 7 пристрою для підйому води передбачається послідовне і синхронне включення двох ємностей: правої базової ємності 3 та лівої базової ємності 4.

Таким чином, процес підвищення напорі в підйомачах води такого типу можливо реалізувати не тільки з метою водопостачання, але і використовувати його з метою одержання екологічно чистої та дешевої енергії за рахунок створення високонапірних гідроелектростанцій широкого діапазону потужностей. Обладнання для підйому води такого типу не потребує присутності людини за рахунок повної автоматизації процесу підвищення гравітаційного напорі. Запропоноване обладнання для підйому води може знайти широке застосування в умовах тваринницьких ферм, т.я. ця галузь сільського господарства потребує автономності у контексті енергетичного та водного постачання.

Математична модель технологічного процесу використання запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм

Якість технологічного процесу використання запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм оцінюють за обсягом споживання води (ОСВ) і швидкістю руху потоку (ШРП). Ці параметри (критерії оптимізації) залежать від чотирьох основних незалежних факторів: висота стовпа рідини – H , м (X_1); об'єму транзитних резервуарів – V , м³ (X_2); діаметра труби – d , м (X_3); довжини труби – l , м (X_4). Перераховані вище незалежні фактори обрані як основні в даному технологічному процесі шляхом проведення попередніх експериментів та їх ранжування за ступенем впливу на якість роботи. Рівні встановлення незалежних змінних (факторів) та діапазон їх варіювання, прийняті під час експериментів, наведені в Таблиці 1.

Таблиця 1. Рівні та діапазон варіювання факторів

Фактори	Рівні варіювання			Інтервал варіювання	Розмірність
	- 1	0	+ 1		
X_1 (H)	3	6	9	3	m
X_2 (V)	2	4	6	2	m ³
X_3 (d)	0,02	0,04	0,06	0,02	m
X_4 (l)	3	6	9	3	m

Джерело: розраховано автором на основі отриманих експериментальних даних

Частота експериментів за кожним із критеріїв оптимізації становила три рази. Для кожного рядка плану розраховано середнє значення ОСВ, ШРП.

Математичні моделі адекватно описують технологічний процес підйому води в умовах тваринницьких ферм. Представлені рівняння регресії:

– за обсягом споживання:

$$\text{ОСВ} = 12,5 + 0,58 \cdot X_1 + 5,4 \cdot X_2 + 2,1 \cdot X_3 - 2,6 \cdot X_4 + 0,63X_1 \cdot X_2 - 0,6X_1 \cdot X_3 - 1,3X_1 \cdot X_4 - 2,8X_2 \cdot X_3 - 1,06X_2 \cdot X_4 + 0,0056X_3 \cdot X_4 - 0,042X_3 \cdot X_4 + 0,0006X_4^2 \quad (28)$$

– за швидкістю руху:

$$\text{ШРП} = 0,83 - 0,025 \cdot X_1 - 0,017 \cdot X_2 + 0,020 \cdot X_3 - 0,011 \cdot X_4 - 0,012 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,0056X_1 \cdot X_3 - 0,042X_1 \cdot X_4 + 0,0006X_3 \cdot X_4 - 0,0006X_4^2 \quad (29)$$

Аналіз рівнянь регресії, отриманих після статистичної обробки, зазвичай виконується з кодованими значеннями факторів [22]. Дослідження критеріїв оптимізації в залежності від зміни незалежних факторів будемо проводити методом двовимірних перетинів.

При заміні $X_3 = 0$ і $X_4 = 0$ рівняння регресії матимуть вигляд:

$$\text{ОСВ} = 12,5 + 0,58 \cdot X_1 + 5,4 \cdot X_2 + 0,63 \cdot X_1 \cdot X_2 + 2,1 \cdot X_1^2 - 5,4 \cdot X_2^2 \quad (30)$$

$$\text{ШРП} = 0,83 - 0,025 \cdot X_1 - 0,017 \cdot X_2 - 0,012 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,12 \cdot X_1^2 - 0,09 \cdot X_2^2 \quad (31)$$

Після розрахунків рівняння регресії в канонічній формі набудуть вигляду:

– для обсягу споживання води: $\text{ОСВ} - 17,218 = 2,183 \cdot X_1^2 - 5,493 \cdot X_2^2$;

– для швидкості руху потоку:

Двовимірний переріз поверхонь відгуку наведено на Рис. 2. Послідовно фіксуємо два інші фактори на рівні 0 і виконуючи обчислення, аналогічні наведеним вище, отримуємо рівняння регресії у звичній формі з новою комбінацією факторів.

При підстановці $X_1 = 0$ і $X_2 = 0$ рівняння регресії:

–для обсягу споживання води:

$$\text{ОСВ} = 12,5 + 2,1 \cdot X_3 - 2,6 \cdot X_4 + 1,5X_3 \cdot X_4 - 1X_3^2 + 1,8 \cdot X_4^2 \quad (32)$$

–для швидкості руху потоку:

$$\text{ШРП} = 0,83 + 0,020 \cdot X_3 - 0,011 \cdot X_4 - 0,0097 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,012 \cdot X_3^2 + 0,014X_4^2 \quad (33)$$

Для обсягу споживання води: $X_3 = -1,23$; $X_4 = 0,27$;

Для швидкості руху потоку: $X_3 = -1,153$; $X_4 = 0,795$;

Рівняння регресії в канонічній формі матимуть вигляд:

– для обсягу споживання води: ;

– для швидкості руху потоку: .

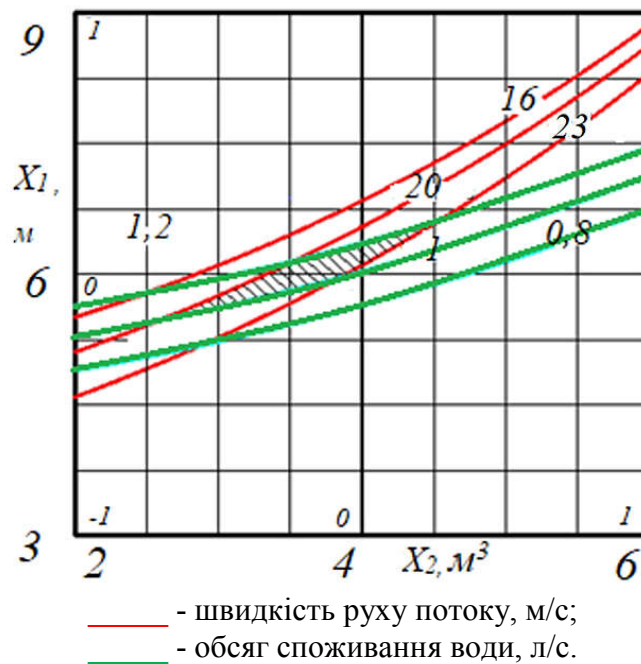


Рисунок 2. Двовимірний перетин поверхонь відгуку при $X_3 = 0$ і $X_4 = 0$.
Джерело: розраховано та сформовано автором із застосуванням даних таблиці 1.

Після аналізу двовимірних поверхонь перерізу (Рис. 2) можна зробити наступні висновки. При значенні існуючого тиску 5,5-6,5 м і об'ємі транзитних резервуарів 3-4,5 м³ обсяг витрат води буде в межах 20-23 л/с, а швидкість руху потоку становитиме 1-1,2 м/с (заштрихована зона, Рис. 2).

При підстановці $X_2 = 0$ і $X_4 = 0$ рівняння регресії мають вигляд:

– для обсягу споживання води:

$$ОСВ = 12,5 + 0,58X_1 + 2,1X_3 - 0,6X_1 \cdot X_3 + 2,1X_1^2 - 1X_3^2 \quad (34)$$

– для швидкості руху потоку:

$$ШРП = 0,83 - 0,025X_1 + 0,020X_3 + 0,0056X_1 \cdot X_3 + 0,12X_1^2 - 0,012X_3^2 \quad (35)$$

Відповідно:

– для обсягу споживання води: $X_1 = -0,427$; $X_3 = -0,96$;

– для швидкості руху потоку: $X_1 = 0,084$; $X_3 = 0,852$;

Рівняння регресії в канонічній формі:

– для обсягу споживання води: $ОСВ - 12,5 = 2,2X_1^2 - 1,035X_3^2$;

– для швидкості руху потоку: $ШРП - 0,94 = 0,12X_1^2 - 0,0121X_3^2$.

Двовимірний переріз поверхонь відгуку показаний на рис. 3.

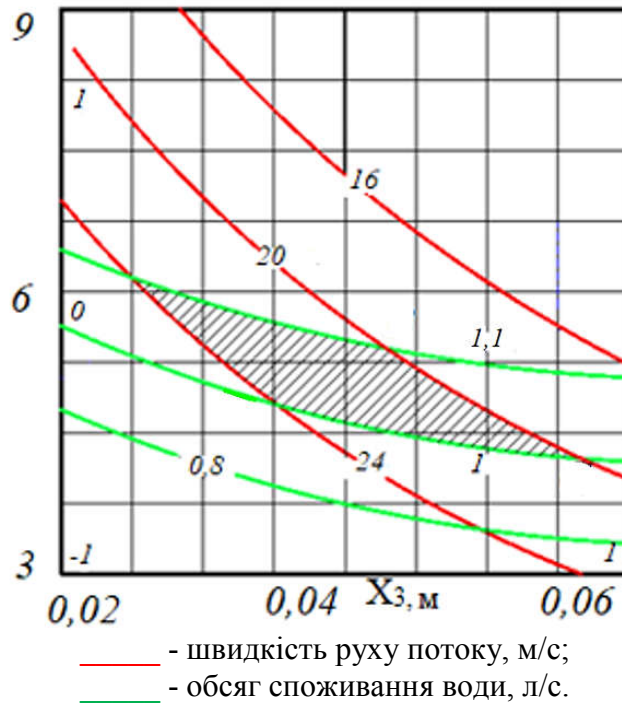


Рисунок 3. Двовимірний перетин поверхонь відгуку при $X_2 = 0$ і $X_4 = 0$.

Джерело: розраховано та сформовано автором із застосуванням даних таблиці 1.

Діаметр трубопроводу – 0,04 м, довжина трубопроводу – 6 м. Більше того, зі збільшенням тиску збільшується величина потоку, швидкість також зростає. А якщо збільшується об'єм транзитних резервуарів, то швидкість руху потоку починає збільшуватися, але обсяг витрат води зменшується. При існуючому напорі 4,5-6 м і діаметрі трубопроводу 0,025-0,055 м обсяг витрат води буде в межах 20-24 л/с, швидкість руху потоку становитиме 1,1 м/с. Об'єм транзитних резервуарів становитиме 4 м³, довжина трубопроводу – 6 м (заштрихована зона, рис. 3).

При установці $X_1 = 0$ і $X_3 = 0$ рівняння регресії мають вигляд:

– для обсягу споживання води:

$$OCB = 12,5 + 5,4X_2 - 2,6X_4 - 1,06X_2 \cdot X_4 - 5,4X_2^2 + 1,8X_4^2 \quad (36)$$

– для швидкості руху потоку:

$$ШРП = 0,83 - 0,017X_2 - 0,011X_4 - 0,013X_2 \cdot X_4 - 0,09X_2^2 + 0,014X_4^2. \quad (37)$$

Відповідно:

– для обсягу споживання води: $X_2 = 0,41$; $X_4 = 0,841$;

– для швидкості руху потоку: $X_2 = -0,121$; $X_4 = 0,336$;

Рівняння регресії в канонічній формі:

– для обсягу споживання води:

– для швидкості руху потоку: $ШРП - 0,709 = 0,0144X_2^2 - 0,0904X_4^2$.

При підстановці $X_2 = 0$ і $X_3 = 0$ рівняння регресії мають вигляд:

– для обсягу споживання води:

$$OCB = 12,5 + 0,58X_1 - 2,6X_4 - 1,3X_1 \cdot X_4 + 2,1X_1^2 + 1,8X_4^2; \quad (38)$$

– для швидкості руху потоку:

$$ШРП = 0,83 - 0,025X_1 - 0,011X_4 - 0,042X_1 \cdot X_4 + 0,12X_1^2 + 0,014X_4^2. \quad (39)$$

Відповідно:

– для обсягу споживання води: $X_1 = 0,098$; $X_4 = 0,757$;

– для швидкості руху потоку: $X_1 = 0,235$; $X_4 = 0,74$;

Рівняння регресії в канонічній формі:

– для обсягу споживання води: $OCB - 12,21 = 2,69X_1^2 + 1,32X_4^2$;

– для швидкості руху потоку: $ШРП - 0,87 = 0,12X_1^2 + 0,0099X_4^2$.

Двовимірний переріз поверхонь відгуку показаний на Рис. 4.

При підстановці $X_1 = 0$ і $X_4 = 0$ рівняння регресії мають вигляд:

– для обсягу споживання води:

$$OCB = 12,5 + 5,4X_2 + 2,1X_3 - 2,8X_2 \cdot X_3 - 5,4X_2^2 - 1X_3^2 \quad (40)$$

– для швидкості руху потоку:

$$ШРП = 0,83 - 0,017X_2 + 0,020X_3 + 0,048X_2 \cdot X_3 - 0,09X_2^2 - 0,012X_3^2 \quad (41)$$

Відповідно:

– для обсягу споживання води: $X_2 = 1,225$; $X_3 = -2,71$;

– для швидкості руху потоку: $X_2 = 0,273$; $X_3 = 1,38$;

Рівняння регресії в канонічній формі:

– для обсягу споживання води: $OCB - 12,86 = -0,58X_2^2 - 5,89X_3^2$;

– для швидкості руху потоку: $ШРП - 0,78 = -0,0052X_2^2 - 0,0968X_3^2$.

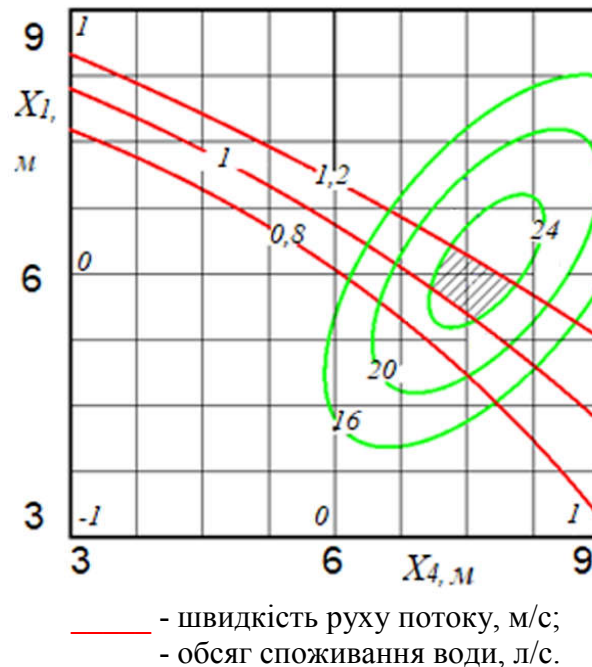


Рисунок 4. Двовимірний переріз поверхонь відгуку при $X_2 = 0$; $X_3 = 0$.

Джерело: розраховано та сформовано автором із застосуванням даних таблиці 1.

При рівні існуючого тиску в межах 6-6,5 м і довжині трубопроводу 7-8 м обсяг споживання води становитиме 23-24 л/с при швидкості руху потоку в межах 1-1,2 м/с

(заштрихована зона, Рис. 4). При цьому діаметр трубопроводу становитиме 0,04 м, а об'єм транзитних резервуарів – 4 м. Але зі збільшенням довжини трубопроводу обсяг витрати води і швидкість руху потоку зменшуються.

Оптимальними конструктивно-технологічними параметрами водопідйомного обладнання можна вважати: висоту напору $X_1 = 5 \dots 6,5$ м; об'єм транзитних резервуарів $X_2 = 4 \dots 4,5$ м³; діаметр трубопроводу $X_3 = 0,04 \dots 0,05$ м; довжина трубопроводу $X_4 = 6 \dots 7$ м. Критерії оптимізації знаходяться в межах: обсяг споживання води $OSB=23 - 24$ л/с; швидкість руху потоку $ШРП=1,1 - 1,2$ м/с.

В контексті обговорення теми, що досліджується, треба зазначити, що забезпечення водою є однією із найважливіших задач в галузі тваринництва. В ході аналізу сучасного стану сільськогосподарських підприємств тваринницького профілю в Україні визначено, що однією із основних тенденцій розвитку є впровадження модернізованої техніки та сучасних технологій, які економлять ресурси, а, відповідно, затрати на виробництво [24]. Механізація тваринництва та використання окремих технологічних ліній або обладнання характеризується досить високою складністю [25].

В умовах тваринницьких ферм більшість технологічних операцій потребують використання води: напування худоби, кормоприготування, обробка і подальша переробка молока, мийні операції тощо. Для забору води можуть використовуватися поверхневі джерела, а саме: річки, озера, канали, інші типи водойм та підземні води. Водозабірні споруди берегового або руслового типу використовують для забору води із поверхневих джерел. У випадку необхідності забору води із підземних джерел застосовують шахтні або трубчасті колодязі. У випадку забору води берегового типу зазвичай використовують таке обладнання: водоприймач, самопливні труби, засувка, береговий колодязь та може бути використана насосна станція. Шахтні колодязі зазвичай використовують з метою забору води, що залягає на глибині 30-40 м. До їх складу входять: труба для вентиляції, глиняний замок, оголовок, шахта, частина для прийняття води, фільтр або відстійник [26]. Комплекс елементів для обробки, забирання, доставки та розподілу води об'єднаний у систему водопостачання, яка може бути самопливною і напірною. Системи водопостачання підприємств галузі тваринництва у випадках вимкнення насоса з метою створення потрібного тиску в мережі використовують водонапірні споруди по типу башти за конструкцією А.А. Рожновського. Для підйому та переміщення води також використовують насоси відцентрового або лопатевого типу, але всі вони потребують затрат електроенергії [27], що мінімізовано у випадку використання запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм.

Застосування сучасних підходів до технологічних систем водопостачання тваринницьких підприємств робить необхідним впровадження енергоефективних технічних засобів для добування, транспортування, доставки води до точок споживання на фермах і комплексах. Застосування насосних приладів для водопостачання є ефективним, але в той час енергоємним, матеріалозатратним та потребує значних коштів. Представлені дослідження використання приладів такого типу та їх модернізації із застосуванням даних заходів може позитивно вплинути на техніко-економічні показники обладнання для постачання води та тепла для будівель агропромислового комплексу [28], але використання природного джерела живлення (річки, озера), як у випадку із запропонованим конструктивним рішенням, не було розглянуто. Також відомі роботи, які стосуються систем водопостачання, проблем, які існують в цих системах, та оптимізації режимів роботи систем централізованого водопостачання, які не враховують специфіку тваринницьких ферм із значним розходом води [29]. Вирішення проблеми водопостачання потребує науково-практичних підходів в екологічній, інженерній, економічній та інших сферах [30]. Приділено увагу використанню побутових стічних вод для потреб технічного водопостачання з метою скорочення забору прісної води з природного водоймища, що є перспективним напрямком в скороченні ресурсів на водопостачання тваринницьких ферм [31], так само як і використання енергоефективного обладнання для підйому води. З огляду на те, що відомі технічні рішення

для підйому води в умовах тваринницьких ферм експлуатації потребують значних енерговитрат, також вони не завжди технологічні при підвищенні напору і підтриманні його на необхідному рівні. Таким чином, є необхідність вирішення питання покращення якісного рівня забезпечення водою підприємств галузі тваринництва, що можна реалізувати за допомогою використання запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм. Процес підвищення напору в водопідйомачах такого типу можливо реалізувати не тільки з метою водопостачання, але і використовувати його для отримання джерел дешевої, екологічно чистої енергії. Такі установки можуть знайти широке застосування в сільському господарстві, а саме в умовах тваринницьких ферм, що як ніяка інша галузь потребує автономного водяного та енергетичного забезпечення. Впровадження установок такого типу потребує повної автоматизації управління процесом підвищення гравітаційного напору, яка виключає присутність людини.

Однак, сучасні досягнення науки і техніки, без сумніву дозволяють створювати обладнані на високому технічному рівні системи управління, в тому числі і для запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм. А це, в свою чергу дає можливість багаторазово використовувати один і той же перепад напору в одному і тому ж місці потоку будь-якого джерела води. Тобто в сучасному обладнанні для підйому переміщення води виконує роботу перепад (напір) тільки один раз, а в запропонованому конструктивному рішення цей напір можна використовувати багаторазово, збільшуючи тим самим його величину в стільки ж разів. Перспективами подальших розвідок може бути збільшення обсягу споживання води та дослідження стосовно використання запропонованого конструктивного рішення в інших підприємствах агропромислового комплексу.

Висновки

Огляд літературних джерел щодо використання обладнання для підйому води дав змогу зробити висновок, що відомі конструктивно-технічні рішення у сфері водопостачання потребують значних витрат в процесі експлуатації та мають досить низький коефіцієнт корисної дії. Також вони не завжди вирішують питання підтримання на необхідному рівні та подальшого збільшення тиску у водопровідній мережі. Отже, і питання зниження енерговитрат в ході роботи системи водопостачання та підвищення якості водопостачання споживачів за рахунок підтримання необхідного тиску у водопровідній мережі шляхом проектування водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм. Виконано теоретичне обґрунтування застосування запропонованого конструктивного рішення водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм.

Встановлено, що основними оптимізаційними критеріями оцінки якості технологічного процесу були: обсяг споживання води $OSB=23-24$ л/с та швидкість руху потоку $ШРП=1,1-1,2$ м/с. На основі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що ці критерії оптимізації залежать від чотирьох основних незалежних факторів: висоти напору – H , м; об'єму транзитних резервуарів – V , м; діаметра труби – d , м; довжини труби – l , м. Також встановлено найбільш вигідні конструктивно-технологічні параметри водопідйомного обладнання, а саме: висота напору $X_1 = 5-6,5$ м; об'єм транзитних резервуарів $X_2 = 4-4,5$ м; діаметр трубопроводу $X_3 = 0,04-0,05$ м; довжина трубопроводу $X_4 = 6-7$ м.

На основі проведення експериментальних досліджень процесу підйому води в лабораторних умовах розроблена методика розрахунку і оптимізації конструктивно-технологічних параметрів водопідйомного обладнання, яка може бути використана при проведенні дослідно-конструкторських робіт зі створення установки водопідйомного обладнання в умовах тваринницьких ферм з метою підвищення напору. Розроблену технологію передбачається впроваджувати для водопостачання сільськогосподарських об'єктів, в тому числі і тваринницьких ферм.

References

- [1] Prokopenko, O.M. (2016). *Animal production of Ukraine 2015: Statistical yearbook*. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine.
- [2] Zacharchenko, O.V. (2018). Assessment of waste formation and prospects for the introduction of environmentally friendly waste-free technologies in the field of animal husbandry. *Scientific Bulletin of Polissia*, 11(3), 82-88.
- [3] Baschenko, M.I. (2017). *Animal husbandry of Ukraine: State, problems, ways of development (1991-2017-2030)*. Kyiv: Agrarian Science.
- [4] Smoliar, V. (2018). Conceptual aspects of creating small cattle fattening farms. *Agricultural Machinery and Technologies*, 2, 27-29.
- [5] The Dunskie Agricultural Advisory Service. (2005). *Livestock housing systems*. Warsaw: Institute for Building Mechanization and Electrification of Agriculture.
- [6] Ali, M. (2011). Water-lifting devices – pumps. *Practices of Irrigation & On-farm Water Management*, 2, 433-477. doi:10.1007/978-1-4419-7637-6_12.
- [7] Rajkhowa, P., & Kubik, Z. (2021). Revisiting the relationship between farm mechanization and labour requirement in India. *Indian Economic Review*, 56, 487-513. doi:10.1007/s41775-021-00120-x.
- [8] Zhang, Y., Lu, X., & Zhang, X. (2021). Experimental investigation of critical suction velocity of coarse solid particles in hydraulic collecting. *Acta Mechanica Sinica*, 37, 613-619. doi:10.1007/s10409-020-01022-6.
- [9] Qian, Jy., Gao, Zx., & Hou, Cw. (2019). A comprehensive review of cavitation in valves: Mechanical heart valves and control valves. *Bio-Design and Manufacturing*, 2, 119-136. doi:10.1007/s42242-019-00040-z.
- [10] Aryal, R., Dokou, Z., Malla, R.B., & Bagtzoglou, A.C. (2020). Design optimization of a small-scale hydropower harvesting device. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 61(3), 1303-1318. doi:10.1007/s00158-019-02416-2.
- [11] Katsuno, E.T., Dantas, J.L.D., & Silva, E.C.N. (2020). Low-friction fluid flow surface design using topology optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 62(6), 2915-2933. doi:10.1007/s00158-020-02706-0.
- [12] Clos, I., Krampe, J., Alvarez-Gaitan, J.P., Saint, C.P., & Short, M.D. (2020). Energy benchmarking as a tool for energy-efficient wastewater treatment: Reviewing international applications. *Water Conservation Science and Engineering*, 5(3-4), 115-136. doi:10.1007/s41101-020-00086-6.
- [13] Tian, F., Wu, B., Zeng, H., Ahmed, S., Yan, N., White, I., Zhang, M., & Stein, A. (2020). Identifying the links among poverty, hydroenergy and water use using data mining methods. *Water Resources Management*, 34(5), 1725-1741. doi:10.1007/s11269-020-02524-5.
- [14] Samui, P., Bonakdari, H., & Deo, R. (2021). *Water engineering modeling and mathematic tools*. doi:10.1016/C2019-0-00480-3.
- [15] Patent #111379 Ukraine MPK (2016.01) E 02 V 11/00 Device for raising water, 10.11.2016, #21.
- [16] Patent #97682 Ukraine MPK (2015.01) F 04 F 10/00 E 02 B 7/18 Device for raising and supply water, 25.03.2015., #6.
- [17] Babenko, D.V., Gorbenko, O.A., Dotsenko, N.A., & Kim, N.I. (2020). Justification of the implementation of a separator of seeds of vegetable and melon crops as part of the technological line. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 25(3), 105-112. doi:10.31521/2313-092X/2020-3(107).
- [18] Shebanin, V., Atamanyuk, I., Gorbenko, O., Kondratenko, Y., & Dotsenko, N. (2019). Mathematical modelling of the technology of processing the seed mass of vegetables and melons. *Food Science and Technology*, 13(3), 118-126. doi:10.15673/fst.v13i3.1480.
- [19] Shadura, V.O., & Kravchenko, N.V. (2018). *Water supply and drainage: Tutorial*. Rivne: NUVGP.
- [20] Nicholas, P., & Cheremisinoff, A. (2001). *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. London: Butterworth-Heinemann.

- [21] Yannopoulos, S.I., Lyberatos, G., Theodossiou, N., Li, W., Valipour, M., Tamburrino, A., Angelakis, A.N. (2015). Evolution of water lifting devices (pumps) over the centuries. *Worldwide Water*, (9)7, 5031-5060. doi:10.3390/w7095031.
- [22] Bortz, J., & Weber, R. (2005). *Statistik für human-und sozialwissenschaftler*. Berline: Springer.
- [23] Lamb, H. (2015). *Hydrodynamics. 6th edition*. New York: Cambridge University Press. Dover Publications.
- [24] Polenkova, M. (2020). Current state and trends of development of agricultural enterprises specializing in livestock in Ukraine. *Economics. Finances. Law*, 29-34. doi:10.37634/efp.2020.12(2).6.
- [25] Myniv, R. (2021). Methodical approaches to assessing the effectiveness of animal husbandry. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 23, 100-105. doi:10.32718/nvlvet-a9418.
- [26] Shadura, V.O., & Kravchenko, V.V. (2018). *Water supply and water drainage: Tutorial*. Rivne: NUVGP.
- [27] Sklyar, A.G. (2019). *Mechanized technologies in the production of agricultural products: Practical tutorial for laboratory classes*. Melitopol: Lux.
- [28] Bosuy, M. (2022). Heat pumps for heat supply and hot supply of agro-industrial enterprises. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, 3-8. doi:10.32845/msnau.2022.2.1.
- [29] Matvienko, O. (2022). Problems of mathematical modelling of water supply systems. *InterConf*. 374-380. doi:10.51582/interconf.19-20.10.2022.040.
- [30] Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Nikitin, A., Kurylo, A., & Demydenko, O. (2021). Geomodels of space monitoring of water bodies. In *E3S Web of Conferences 280, Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters* (article number 09016). London: ICSF. doi:10.1051/e3sconf/202128009016.
- [31] Ilyasov, O. Koshelev, S. Asonov, A. & Kostomakhin, M. (2021). Wastewater free supply in animal husbandry. *Agricultural Machinery: Service and Repair*, 25-30. doi:10.33920/sel-10-2107-03.