

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

УДК 631.22:628.1:631.171.2

МАЛІНОВСЬКИЙ Олександр Миколайович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВОДОПОСТАЧАННЯ ВРХ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ
ВОДОПІДІЙМАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ **Маліновський О.М.**

Керівник роботи
Тимків В.В.
асистент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Маліновський О.М. Удосконалення технологічного процесу водопостачання ВРХ з модернізацією водопідіймальної установки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026 р.

У кваліфікаційній роботі для реалізації проектних рішень було розроблено технологію та підібрано обладнання з врахуванням світових тенденцій.

При аналізі конструкцій водопідіймального обладнання встановлено:

- що найбільшу питому вагу обладнання для піднімання води займають насоси;
- лише в деяких випадках можливе використання іншого водопідіймального обладнання (ерліфти, шнурові водопідіймачі).

Насосне обладнання яке використовується для піднімання води являє собою в основному відцентрові насоси які можуть бути як поверхневими так і заглибними, має суттєвий недолік, якщо в воді велика кількість домішок піску насосний агрегат швидко виходить з ладу. Проведення монтажних робіт заглибних насосів потребує додаткового технологічного обладнання і затрат;

Тому для ліквідації в казаних недоліків запропонована конструкція ерліфта, що забезпечує стабільну роботу, підвищує продуктивність та зменшує питому витрату повітря.

Ключові слова: водопостачання, насос, ВРХ, ерліфт.

ANNOTATION

Malinovskyi O.M. **Improvement of the technological process of water supply for cattle with modernization of the water-lifting installation.** – Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for the first educational degree of bachelor in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

In the qualification work for the implementation of design solutions, technology was developed and equipment was selected taking into account global trends.

When analyzing the designs of water-lifting equipment, it was established:

- that the largest share of equipment for lifting water is occupied by pumps;
- only in some cases is it possible to use other water-lifting equipment (airlifts, cord water lifts).

The pumping equipment used for lifting water is mainly centrifugal pumps that can be both surface and submersible, has a significant drawback, if there is a large amount of sand impurities in the water, the pumping unit quickly fails. Carrying out installation work on submersible pumps requires additional technological equipment and costs;

Therefore, to eliminate the above shortcomings, an airlift design is proposed, which ensures stable operation, increases productivity and reduces specific air consumption.

Keywords: water supply, pump, cattle, airlift.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ	7
1.1. Вимоги до системи водопостачання	7
1.2. Аналіз існуючих конструкцій систем водопостачання.....	10
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ФЕРМІ ВРХ	17
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ ВОДОПІДІЙМАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	21
3.1. Обґрунтування вибору повітряного водопідйомника	21
3.2. Розроблення технологічної схеми ерліфтної установки та опис процесу її роботи.....	21
3.3. Розрахунок болтового з'єднання на міцність	23
3.4. Розрахунок параметрів ерліфту.....	26
ВИСНОВКИ.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Актуальність теми. Кваліфікаційна робота направлена на розробку технології виробництва м'яса яловичини з використанням сучасного обладнання передових фірм виробників з максимальним врахуванням умов об'єкту проектування.

Мета і завдання кваліфікаційної роботи.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності виробництва м'яса яловичини та розробка конструкції водопідіймального обладнання для зменшення затрат енергії на піднімання води яка використовується для напування тварин.

Завдання дослідження:

- розглянути технологічний процес водопостачання та проаналізувати існуючі конструкції машин для реалізації обраної технології;
- виконати конструкторсько - технологічні розрахунки;
- оцінити техніко-економічний ефект від застосування запропонованої технології.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси виробництва м'яса ВРХ, та обладнання, що забезпечує цей технологічний процес.

Предметом дослідження є модернізована водопідіймальна установка.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Маліновський О.М. Значення механізації водопостачання та обґрунтування необхідності удосконалення водопідіймальної установки. Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч.3. С.77-78.

2. Маліновський О.М. Аналіз конструкцій водопідіймального обладнання. Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції

за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч.3. С.146-149.

Практичне значення одержаних результатів. Впровадження модернізованої водопідіймальної установки створить стійке постачання води при аварійних ситуаціях.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування. Загальний обсяг роботи становить 31 сторінку комп'ютерного тексту, містить 7 рисунків та 1 таблицю.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1. Вимоги до системи водопостачання

У тваринництві вода насамперед використовується для напування тварин і птиці, а також у різних технологічних процесах, зокрема під час приготування кормів, доїння корів та первинної обробки молока. Крім того, вона застосовується для побутових, санітарно-гігієнічних і протипожежних потреб.

Вода на тваринницьких підприємствах, як і в населених пунктах, повинна відповідати вимогам державного стандарту на питну воду. Її якість визначають за фізичними, хімічними та бактеріологічними показниками (див. табл. 1.1). Для напування тварин, залежно від їх виду та віку, рекомендується вода температурою 8–25 °С, без сторонніх запахів, присмаку та забарвлення. Вміст органічних і мінеральних домішок не повинен перевищувати 2 мг/л. [13]

Таблиця 1.1

Вимоги до якості води

Назва показника	Допустимі межі	Норма
Запах і присмак при температурі +20 °С, балів	0-5	2
Кольоровість за шкалою, градусів	0-100	<20
Прозорість за шрифтом, мг/л		<2
Загальна жорсткість, мг-екв/л	3,5-14	7
Загальна кількість бактерій в 1 мл нерозбавленої води	10-1500	100
Середня кількість кишкових паличок в 1 л води	0-10	3

Якісна питна вода має характеризуватися нейтральною або слабколужною реакцією з показником рН у межах 6,5–9,5. Її жорсткість,

зумовлена вмістом солей кальцію та магнію, не повинна перевищувати 7 мг-екв/л. Рівень окиснення (наявність розчиненого кисню) має становити не більше 2,5 мг/л, а концентрація свинцю — не більш як 0,1 мг/л. Також у одному літрі води допускається не більше трьох кишкових паличок. Окрім цього, у воді не повинно бути видимих неозброєним оком водних організмів.

Дослідженнями, які були проведені в Швеції, встановлено, що при подачі води 2 л/хв надой молока за добу становили 20,5 л, а при 12,5 л/хв - 21 л. При температурі води 3 °С надой були 25,4 л, при 10 °С - 25,9 л, а при 17 °С- 26,1 л. Для нагрівання організмом тварини 1 л води на 1 °С потрібно 4,19 кДж . [13]

Дослідженнями, які були проведені в Швеції, встановлено, що при подачі води 2 л/хв надой молока за добу становили 20,5 л, а при 12,5 л/хв - 21 л. При температурі води 3 °С надой були 25,4 л, при 10 °С - 25,9 л, а при 17 °С- 26,1 л.

Для нагрівання організмом тварини 1 л води на 1 °С потрібно 4,19 кДж (1 ккал) тепла. Якщо корова випиває за добу 70 л води, температура якої становить 2 °С, то для нагрівання її до 12 °С організм затрачає 700 ккал тепла, або 200 г перетравного протеїну чи дві кормові одиниці. В цьому випадку від кожної корови не добирається 3,5-4,0 л молока. [12]

Вода, що використовується у фермерських молочних господарствах або на потокових лініях первинної обробки молока, повинна бути м'якою та не містити вапна, сполук магнію, заліза й органічних домішок. Жорстка вода спричиняє утворення відкладень на внутрішніх стінках труб, що знижує їх пропускну здатність і погіршує теплопередачу. Наявність у воді заліза та органічних речовин негативно впливає на якість молочної продукції і може навіть призводити до її псування.

Покращення якості води досягається шляхом її відстоювання у великих резервуарах або фільтрування. Також застосовують спеціальні фільтри, що затримують сполуки кальцію, або підігрівання води до 70–80 °С, унаслідок чого солі кальцію та магнію випадають в осад. Для знезараження у воду додають хлор

або хлорне вапно, а сам процес хлорування здійснюють у спеціальних установках — хлораторах.

Щоб запобігти забрудненню водних джерел, навколо них встановлюють санітарні зони, які поділяються на три пояси з різними режимами охорони. Перший пояс для річкових джерел охоплює ділянку 200 м вгору за течією, 100 м вниз і по 100 м з кожного боку берегів. Для озер і водосховищ він має форму кола радіусом 200 м, для підземних вод — 30–50 м залежно від типу джерела. Територія цього поясу огорожується та озеленюється, а будь-яке проживання людей і утримання тварин там забороняється.

Другий пояс охоплює саме джерело водопостачання та зону його живлення, включаючи населені пункти й підприємства, які можуть впливати на якість води. У цій зоні проводять оздоровчі заходи та, за потреби, обмежують господарську діяльність.

Третій пояс прилягає до другого і призначений для контролю за інфекційними захворюваннями та своєчасного запобігання їх поширенню через систему водопостачання.

Для господарсько-питного водопостачання перевагу надають трубчастим колодязям (буровим свердловинам), оскільки вони краще захищені від бактеріального забруднення, мають стабільні показники якості та температури. Хоча їх облаштування є дорогим, вони широко застосовуються на тваринницьких підприємствах із механізованим водопостачанням.[5]

Грунтові води шахтних колодязів потребують регулярного контролю якості. Водночас відкриті джерела (ставки, річки) легко забруднюються бактеріями, а очищення води, отриманої з них, потребує значних витрат. Через це поверхневі та ґрунтові води майже не використовують для механізованого водопостачання тваринницьких ферм.

1.2. Аналіз існуючих конструкцій систем водопостачання

Водопровідна мережа призначена для подачі та розподілу води до місць її використання. Трубопровід, яким вода надходить від насоса до водонапірної башти або гідроакумулятора, називають напірним трубопроводом.

Із водонапірної башти під дією гідростатичного тиску вода подається до споживачів. Частина системи, що прокладена на території ферми від водонапірної споруди до окремих об'єктів, називається зовнішньою або магістральною мережею. Трубопроводи, які забезпечують розподіл води безпосередньо всередині приміщень між споживачами, належать до внутрішньої мережі.

Зовнішні водопровідні мережі можуть бути тупиковими, кільцевими або комбінованими (змішаними).

Тупикова мережа складається з окремих гілок. Вода від водонапірної башти подається головною магістраллю до відгалужень, які завершуються тупиковими кінцями. [6, 7, 9]

Кільцева мережа забезпечує циркуляцію води по замкненому колу та подає її до споживачів щонайменше з двох напрямків (рис. 1.2).

На невеликих фермах зовнішні водопровідні мережі зазвичай виконують за тупиковою схемою, тоді як на великих фермах і тваринницьких комплексах перевагу надають кільцевій системі. У випадках, коли об'єкти споживання на фермі розташовані кількома рядами, водопровідна мережа може бути виконана за кільцевою або змішаною схемою.[9]

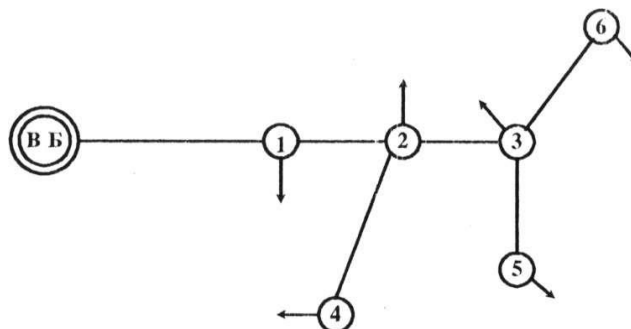


Рис. 1.1. Схема тупикової водопровідної мережі:

ВБ - водонапірна башта; 1, 2,..., 6 - розподільчі колодязі

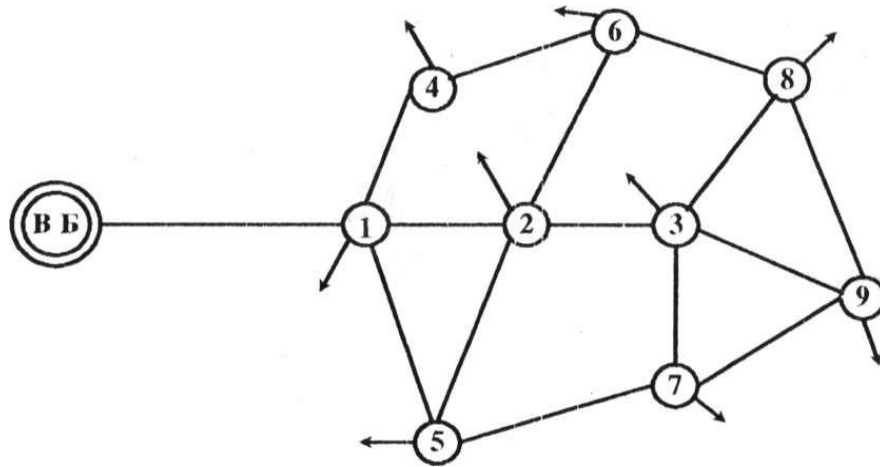


Рис. 1.2. Схема кільцевої водопровідної мережі:

ВБ — водонапірна башта; 1, 2,..., 9 - розподільчі колодязі.

Кільцева мережа зовнішнього водопроводу має більшу протяжність і потребує вищих витрат на будівництво порівняно з тупиковою мережею. Проте вона забезпечує вищу надійність системи водопостачання, спрощує проведення профілактичних робіт і ремонт окремих ділянок. Завдяки можливості подачі води до споживачів з двох напрямків пошкоджені відрізки мережі можна відключати без припинення водопостачання для інших користувачів. Крім того, кільцеві схеми характеризуються більш стабільним напором води. [9]

Для прокладання зовнішніх водопровідних мереж найчастіше використовують чавунні та азбестоцементні труби, тоді як сталеві застосовуються значно рідше. У разі використання сталевих труб їх обов'язково захищають від корозії шляхом спеціальної обробки або нанесення ізоляційного покриття. Переважно сталеві труби використовують при влаштуванні внутрішніх водопровідних систем. Вони дорожчі за чавунні та азбестоцементні і менш довговічні через корозію металу.

При прокладанні трубопроводу слід дотримуватись таких правил:

- трасу водопроводу вибирати відповідно до умови найкоротшої доставки води споживачам;
- труби розміщувати на глибині нижче рівня промерзання ґрунту.

Внутрішні водопровідні мережі призначені для безпосереднього розподілу води між споживачами всередині приміщень. Схеми розводки труб цих мереж і

види водорозбірних приладів, які використовуються в них, залежать від переліку технологічних операцій, що виконуються в тих чи інших об'єктах водопостачання. Для безперебійної подачі води на виробничі потреби внутрішні водопровідні мережі прокладають переважно за кільцевими схемами. Якщо умови виробництва допускають перерви у подачі води, то в таких випадках можливі тупикові водопровідні мережі.

Мережі внутрішніх водопроводів виробничих приміщень великих ферм слід приєднувати до кільцевої мережі зовнішнього водопроводу двома незалежними вводами, причому до різних її ділянок.

На водопроводах встановлюють запірно-регулюючу і запобіжну арматуру та водорозподільні пристрої.

До запірно-регулюючої арматури відносяться засувки, дискові поворотні затвори, а також: вентилі. Вони дозволяють регулювати витрату води і відключати окремі ділянки мережі при аварії або ремонті.

Вентилі встановлюють на водопровідній мережі для відключення її окремих ділянок при ремонті або для регулювання і відключення подачі води до водорозбірних приладів, на нагнітальних трубопроводах насосів, тощо. До запобіжної арматури відносяться: зворотні і запобіжні клапани, повітряні вантузи. Зворотні клапани використовують для запобігання зворотного руху води трубопроводами, наприклад, при зупинці насоса тощо. Для захисту трубопроводів від надмірного тиску використовують запобіжні клапани. Вантузи служать для автоматичного випуску повітря, яке накопичується у найвищих точках водопровідної мережі.

Насоси та насосне обладнання. Найбільш масовими і звичними насосами є водопідйомні, призначені для забору чистої води з колодязя або свердловини, рідко - з озера або річки. Умови застосування визначають конструкцію, відповідно до якої водопідймальні насоси підрозділяються на поверхневі і глибинні. [10]

Поверхневі насоси - це прості, зручні в експлуатації і при інших рівних умовах самі дешеві пристрої. Їх легко монтувати й переміщати - можна перенести сам насос або тільки шланг. Глибина джерела води не має значення, хоч всього кілька сантиметрів. Якщо ви берете воду для пиття з колодязя, а для поливу ділянки - з річки або озера, то краще поверхневого насоса нічого не придумаєш. Ці насоси ідеальні для садівників-любителів, вони завжди доступні, оскільки встановлюються прямо на землі під навісом, у сараї, в підвалі або в прибудові до будинку. Їхньої потужності і напору вистачає, щоб піднімати воду на десятки метрів. [10]

Однак невблаганні закони фізики не дозволяють поверхневим насосів піднімати воду з великих глибин. Відповідно, вони можуть використовуватися тільки там, де ґрунтові води підходять близько до поверхні землі. Теоретично максимальна глибина забору щодо осі насоса становить 10 метрів, реально - шість чи вісім. А при відкачуванні рівень води в колодязі може знизитися, і тоді насос відключиться або навіть згорить, хоча сучасні насосні станції максимально захищені від подібних аварій. Для збільшення глибини забору ставлять насоси із зовнішнім ежектором, але вони шумні, незручні і примхливі в експлуатації.

Інший недолік поверхневих насосів - надмірна відкритість. Їх необхідно ховати в приміщенні, інакше вони приваблюють зломисників, а в спекотний літній день можуть нагріватися так, що пристрій теплового захисту буде щохвилини автоматично відключати їх.

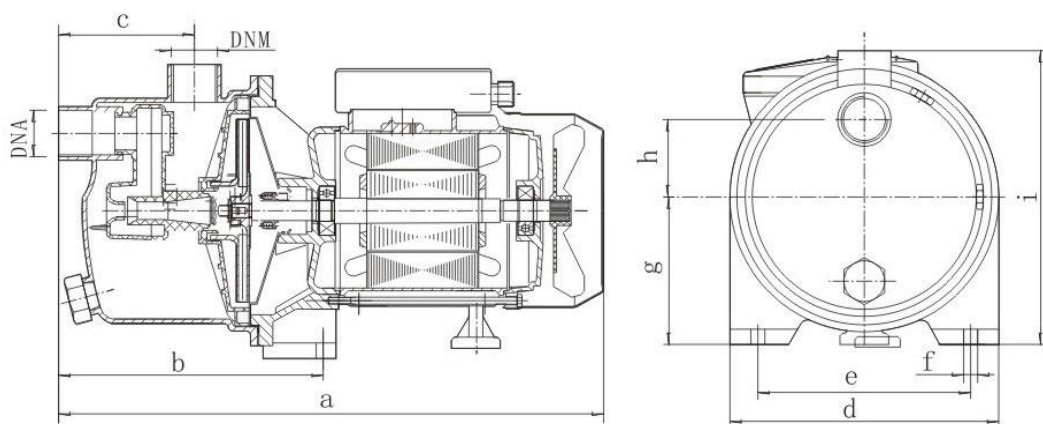


Рис.1.3. Струменевий самовсмоктуючий насос

Глибинні насоси. Якщо вода не йде до насоса, він йде до води. Інакше кажучи, насос роблять глибинним, герметичним і опускають у воду, виводячи назовні труби і кабелі живлення. У результаті для такого насоса глибина колодязя або свердловини вже не принципова, вона може становити і 40-50, і більше 100 метрів. Глибинний насос не вимагає монтажу (якщо не вважати підвіски), місця не займає - висить собі в колодязі тихо, воду качає. Проте обслуговувати або ремонтувати його не так просто: треба від'єднувати шланг, витягувати насос з колодязя, розбирати герметичний корпус, а потім все те ж у зворотному порядку. Якщо насос встановлений в свердловині глибиною в десятки метрів - усе ще складніше. Тому глибинні насоси дуже надійні, а тому й дорогі. [14]

Серед глибинних розрізняють колодязні і свердловинні насоси. Колодязні в порівнянні з свердловинними рівної потужності відрізняє наявність внутрішньої сорочки охолодження двигуна, більший діаметр, підвищена ефективність двигуна, продуктивність і менша вартість. Свердловинні насоси розраховані на установку в глибоких і вузьких свердловинах, тому представляють собою циліндр невеликого діаметру. Враховуючи, що труби свердловини можуть бути викривлені, насос підбирають діаметром хоча б міліметрів на 10-15 менше, ніж труби. Але діаметр свердловини не повинен бути набагато більше діаметру насоса, оскільки охолодження електродвигуна насоса свердловини, на відміну від колодязного, здійснюється потоком води, що піднімається, і в технічній документації обов'язково вказується мінімально допустима швидкість руху води. Для поверхневого насоса байдуже, яка товща води під ним. А глибинний, якщо до дна менше метра, може засмоктувати пісок і мул, і тоді скоро зламається.

Характер свердловини визначає конструкцію необхідного насоса. Якщо вона дрібна, «піщана», то у воді буде багато дрібного піску у вигляді суспензії, яку не вловив свердловинний фільтр. У цьому випадку насос повинен мати спеціальні «плаваючі» робочі колеса, особливі підшипники, збільшені зазори

між робочим колесом і направляючим циліндром. Все це знижує його ККД, проте дозволяє перекачувати воду з вмістом піску до 150 грамів на кубометр. Якщо свердловина глибока, «вапнякова» - все трохи простіше: продуктивність її дозволяє качати воду тисячами літрів на годину, і вода завжди чиста, без механічних домішок. [14]



Рис.1.4. Струменевий глибинний насос

Струменеві глибинні насоси призначені для подачі чистої питтєвої води із свердловин і колодязів з внутрішнім діаметром від 110мм. Вони використовуються у системах автоматичного водопостачання, зрошувальних установках у сільському господарстві, садоводстві. Можуть застосовуватись з використанням механічної чи електронної схеми керування у системах автоматичної подачі води. Перевага даних насосів – невеликі габарити (висота насосу) при задовільній продуктивності і високому напорі, що дозволяє використовувати їх у свердловинах і колодязях зі стовпом води від 1,5м і вище. Конструктивні характеристики: корпус насосу із нержавіючої сталі робоче колесо із латуні, ведучий вал із нержавіючої сталі, однофазний асинхронний масло наповнений двигун із вбудованим термозахистом механічне ущільнення із вуглеграфіт – карбід кремнію з гумовим сильфоном, довжина кабеля живлення 12м.

Умови застосування: максимальна температура перекачуваної рідини до $+40^{\circ}\text{C}$, максимальний вміст піску: 0,15%, мінімальний діаметр отвору: 4" максимальне заглиблення: 50м. [14]



Рис.1.5. Відцентровий свердловинний насос

Насоси типу БЦПЕ працюють при повному заглибленні корпусу в перекачуване середовище. Область застосування вимагає надійної ізоляції електропроводки. В конструкції застосовуються такі матеріали, як нержавіюча сталь, латунь та харчова пластмаса. Насоси служать для підйому води із скважин і вирізняються високим напором. Насоси вирішують дуже важливу проблему, оскільки звичайний побутовий агрегат, встановлений на "суші", не в змозі забезпечити подачу води з великих глибин (його максимальна висота "всмоктування", як правило, не перевищує 7 м).

Конструктивні характеристики: корпус насосу із нержавіючої сталі, ведучий вал із нержавіючої сталі, двигун однофазний, асинхронний, маслонаповнений із вбудованим термозахистом, механічне ущільнення із керамографіту корпус електродвигуна із нержавіючої сталі, вихідний фланець із латуні, гвинти, фільтр із нержавіючої сталі.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ФЕРМІ ВРХ

Господарство має електроживлення від РЕС $U=10\text{кВ}$, що не забезпечує вимог споживачів II групи, звідси доцільно для ферми проектувати баштову систему водопостачання. Так, як відкрите джерело в господарстві знаходиться на досить далекій відстані, оптимальним джерелом мають бути міжпластові води з водозбірником - трубчатим колодязем. Глибина залягання міжпластових вод складає 100-150 м.

Середньодобова потреба в воді ($\text{м}^3/\text{добу}$) визначається, виходячи з нормативів і поголів'я ферми: [4]

$$G_{\text{срд.доб}} = 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n m_i a_{i\text{в}} \quad (2.1)$$

де $a_{i\text{в}}$ = середньодобове використання води тваринами i -того виду,

$a_{i\text{в}}=100\text{л/гол}$;

m_1 - кількість тварин, $m_1 = 200$ гол.

тоді $G_{\text{срдоб}} = 10^3 \cdot \sum_{i=1}^n 200 \cdot 100 = 20 \text{ м}^3/\text{добу}$.

Максимальна добова витрата води складе: [4]

$$G_{\text{max.доб}} = G_{\text{ср.доб}} \cdot K_{\text{д}}; \quad (2.2)$$

де $K_{\text{д}}$ - коефіцієнт добової нерівномірності, $K_{\text{д}} = 1,3$.

$$G_{\text{max.доб}} = 20 \cdot 1,3 = 26 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Максимальна година витрата, ($\text{м}^3/\text{год}$): [4]

$$G_{\text{max}} = \frac{G_{\text{срдоб}} \cdot k_1 \cdot k_2}{24}, \quad (2.3)$$

де k_2 - коефіцієнт годинної витрати, $k_2 = 2$.

$$\text{Тоді } \frac{20 \cdot 1,3 \cdot 2}{24} = 2,2 \text{ м}^2/\text{год.}$$

Максимальна секундна витрата води, (л/с): [4]

$$G_{\max c} = \frac{G_{\max \text{ год}}}{3,6}, \quad (2.4)$$

$$G_{\max c} = \frac{2,2}{3,6} = 0,6 \text{ л/с}.$$

При баштовому напірно-регулюючому пристрої, місткість башти: [4]

$$V_6 = V_p = V_a + V_n, \quad (2.5)$$

де V_a - аварійний об'єм визначається:

$$V_a = 2 \cdot 2,2 = 4,4 \text{ м}^3 \quad (2.6)$$

V_n - пожежний об'єм:

$$V = 3,6 \cdot G_n \cdot T_n, \quad (2.7)$$

де G_n - норма витрат води для гасіння пожежі, $G_n = 10 \text{ л/с}$;

T_n - час гасіння пожежі, $T_n = 10 \text{ хв} = 0,166 \text{ год}$;

$$V_n = 3,6 \cdot 10 \cdot 0,166 = 6 \text{ м}^3.$$

V_p - регулюючий об'єм:

$$V_p = \frac{G_{\max \text{ доб}} (d_{\text{нед}} + d_{\text{над}})}{100}, \quad (2.8)$$

де $d_{\text{нед}}$, $d_{\text{над}}$ - максимальна надлишкова (недостаюча) подача води насосом відносно її споживання, %.

Для визначення $d_{\text{нед}}$ і $d_{\text{над}}$ маємо інтегральний графік добового споживання води тваринами на який накладають інтегральний графік подачі води насосом на протязі 14... 18 год. Відрахування координат $d_{\text{нед}}$ і $d_{\text{над}}$ здійснюємо при максимальному співпаданні інтегральних графіків, рис.1.1.

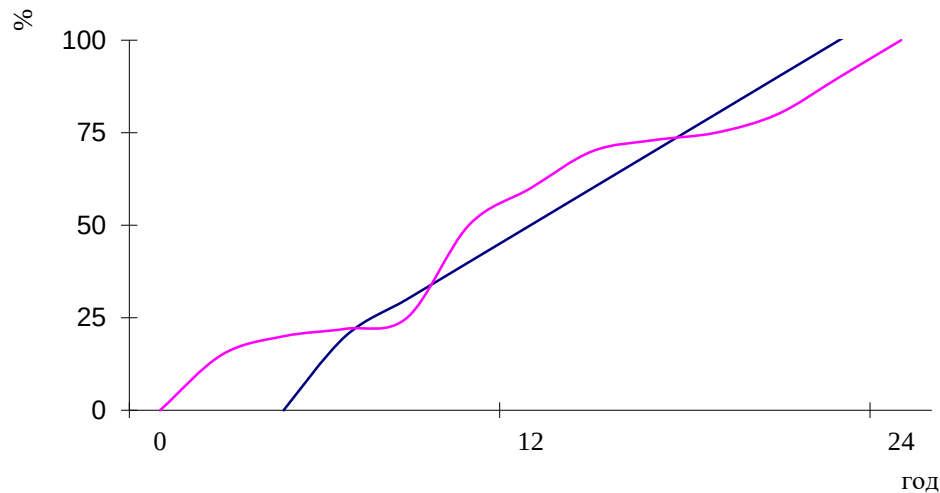


Рис.2.1. Сумісний інтегральний графік добового споживання води та водоподачі насосом

$$V_p = \frac{26 \cdot (8+9)}{100} = 4,42 \text{ м}^3.$$

тоді $V_6 = 4,4 + 4,4 + 6 = 14,8 \text{ м}^3.$

По значенню V_6 вибираємо башту, висота якої (H_6) повинна забезпечувати умову. [4]

$$H_6 > H_e \pm H_z + h_\Sigma. \quad (2.9)$$

де H_e - вільний напір в диктуючій точці, $H_e = 4 \text{ м}$;

H_z - різниця геодезичних відміток в диктуючій точці і основою башти,

$H_z = 0 \text{ м}$;

h_Σ - сума лінійних і місцевих втрат у диктуючій точці, м.

Напір насосу розраховуємо із залежності: [4]

$$H_n = H_{дин} + H_6 + h_l + h_m. \quad (2.10)$$

де $H_{дин}$ - висота динамічного рівня колодязя або висота всмоктування, $H_{дин} = 50 \text{ м}$;

h_l, h_m - лінійні і місцеві втрати в напірному трубопроводі, м:

$$h_{\text{л}} = \frac{k_{\text{л}} \cdot l \cdot v^2}{2 \cdot d \cdot g}; \quad (2.11)$$

де $k_{\text{л}}$ - коефіцієнт лінійних втрат в трубопроводі, $k_{\text{л}} = 0,02$;

l - довжина водопроводу, вибирається виходячи із розташування башти відносно джерела води, $l = 500$ м;

v - швидкість води в трубопроводі, $v = 1$ м/с;

g - прискорення земного тяжіння, $g = 9,81$ м/с²;

d - діаметр трубопровода, $d = 50$ мм.

$$h_{\text{л}} = \frac{0,02 \cdot 500 \cdot 1^2}{2 \cdot 0,05 \cdot 9,81} = 10,2 \text{ м}$$

Місцеві втрати визначаємо: [4]

$$h_{\text{м}} = 0,1 h_{\text{л}} \quad (2.12)$$

$$h_{\text{м}} = 0,1 \cdot 10,2 = 1,02 \text{ м.}$$

$$H_{\text{б}} \geq 4 \pm 0 + 11,2 = 15,2 \text{ м.}$$

$$H_{\text{н}} = 50 + 15,2 + 10,2 + 1,02 = 76,42 \text{ мвод.ст.}$$

Знаючи годинну витрату води та необхідний напір насоса, вибираємо насос ШЦВ6-6,3-140

Кількість напувалок визначаємо з врахуванням технології утримання тварин: [4]

$$n_{\text{авт}} = \frac{m_{\text{сп}}}{m}; \quad (2.13)$$

де $m_{\text{авт}}$ - кількість тварин, що обслуговуються однією напувалкою,

$m_{\text{авт}} = 10$ гол. при боксовому утриманні;

$$n_{\text{аГм}} = \frac{200}{10} 20 \text{шт.}$$

Таким чином для забезпечення водою ферми на 200 голів ВРХ, необхідно мати водонапірну башту БР-15У, насос 1ЕЦВ6-6,3-140 і 20 напувалок типу АП-1.

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВОДОПІДІМАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

3.1. Обґрунтування вибору повітряного водопідійомника

Ефективне функціонування сучасних тваринницьких ферм значною мірою залежить від безперебійного забезпечення енергією та водою, особливо в умовах надзвичайних ситуацій, таких як стихійні лиха або техногенні аварії. Водночас у сільській місцевості, як правило, відсутні резервні системи водопостачання, що в разі аварій негативно позначається на перебігу технологічних процесів, продуктивності та стані здоров'я тварин і птиці, а також на ефективності роботи обслуговуючого персоналу.

Практичний досвід свідчить, що гранично допустимий час припинення подачі води без суттєвого зниження продуктивності становить у середньому: для дійних корів — до 6 годин, для нетелей — до 3 годин, для відгодівельних бичків — до 5 годин, для свиней — до 12 годин, а для птиці — лише до 1 години.

Для забезпечення надійного водопостачання в аварійних умовах на проєктованій фермі доцільно передбачити використання резервних засобів подачі води. Зокрема, як альтернативу при виході з ладу основних глибинних насосів пропонується застосовувати повітряні водопідіймачі (ерліфти), що дозволить підтримувати безперервне водозабезпечення господарства.

3.2 Розроблення технологічної схеми ерліфтної установки та опис процесу її роботи

Ерліфт складається з піднімальної труби 1, змішувача 2, приєднаного до нього основного повітряпроводу 3 і додаткового повітряпроводу 4, підключеного навпроти і співвісно основному трубопроводу 3, засувки 5 і 6 з виконавчими електромагнітними елементами (на кресленні не показані),

розташованих на основному трубопроводі 3 і додатковому трубопроводі 4 з рівним віддаленням від змішувача 2, реле часу 7, джерела стиснутого повітря 8, труби ерліфта 9, що всмоктує, і повітровідділювача 10.

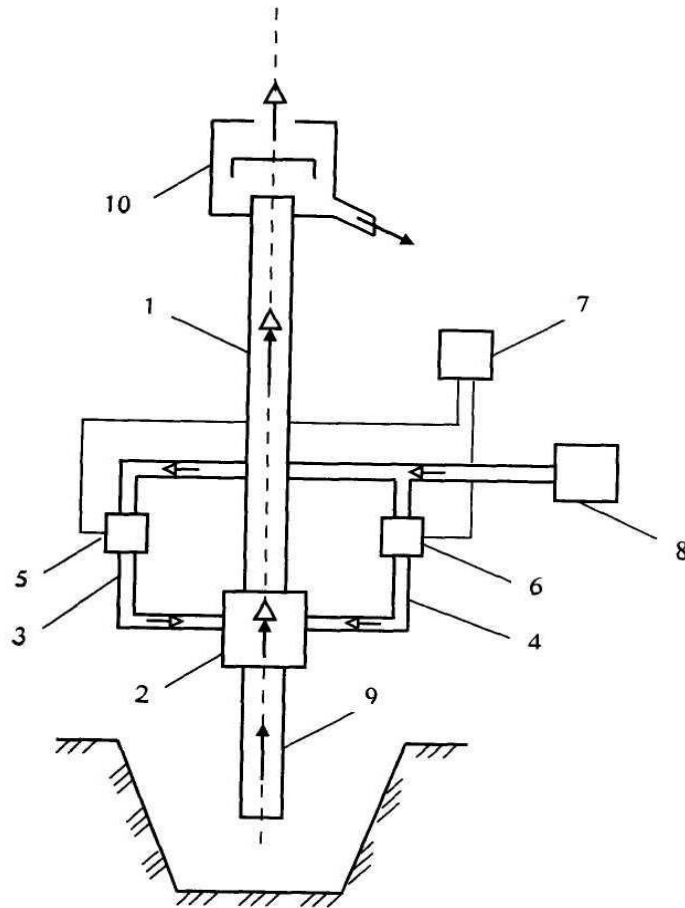


Рис.3.1. Ерліфтна установка.

Ерліфт працює в такий спосіб. Робоче тіло від джерела стиснутого повітря 8 по основному повітряпроводу 3 і додатковому повітряпроводу 4 надходить до змішувача 2. У змішувачі 2 відбувається змішування робочого повітря і середовища, що транспортується та надходить через усмоктувальну трубу 9. За рахунок зустрічного і співвісного розташування основного повітряпроводу 3 і додаткового повітряпроводу підвищується ступінь повноти передачі енергії робочого повітря середовищу, що транспортується, по довжині піднімальної труби 1, зменшується прослизання робочого повітря відносно середовища, що транспортується, в аерогідросуміші, яка рухається по піднімальній трубі 1. При цьому забезпечують подачу імпульсів робочого повітря в змішувач 2 за

допомогою засувов 5 і 6, які розташовані на основному повітряпроводі 3 і додатковому повітряпроводі 4 відповідно і мають нормальне закриті положення. Відкриття засувов 5 і 6 здійснюється за допомогою електромагнітів, що керуються реле часу 7. Цим реле часу 7 регулюється тривалість імпульсів подачі робочого повітря, причому можливо встановлювати тривалість відкриття і закриття засувов 5 і 6. Це у свою чергу змінює розмір і частоту подачі чіткі. Оптимальне відношення часу закриття засувов до часу відкриття складає 0,5-2,5. При зниженні даного відношення спостерігається зниження продуктивності ерліфта, а при збільшенні - нестабільна робота ерліфта також зі зменшенням продуктивності. Рухаючись нагору по піднімальній трубі 1, чіткі досягають повітровідділювача 10, де відбувається розділення фаз потоку аерогідросуміші.

Застосування даного ерліфта дозволяє за рахунок подачі імпульсів робочого повітря за часом при одночасній повноті передачі енергії робочого повітря середовищу, що транспортується, по довжині піднімальної труби збільшити коефіцієнт ковзання фаз і здійснити ефективний розмив верхнього шару твердого матеріалу в усмоктувальній трубі ерліфта. Це забезпечує стабільність роботи, підвищує продуктивність ерліфта, зменшує питому витрату повітря.

3.3 Розрахунок болтового з'єднання на міцність

Вихідні дані.

Число болтів $Z = 6$;

Навантаження на фланець і пластини $F = 7.5$ кН.

Болти навантажені розтягуючою осьовою силою, (попередня й наступна затягування їх відсутні).

Розрахунковий внутрішній діаметр різьби

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot [\sigma]_p \cdot Z}}, \quad (3.1)$$

де $[\sigma]_p$ - Допустимі напруження в гвинті при розтягуванні,

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_m}{[S]}, \quad (3.2)$$

Коефіцієнт запасу міцності,

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot [\sigma]_p \cdot Z}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7.5}{\pi \cdot \frac{200 \cdot 10^3}{1.6} \cdot 6}} = 3.5_{\text{мм}}$$

Приймаємо болт $d = 6$, $d_{\text{вн}} = 4.92$.

Болти попередньо затягнуті і навантажені осьовою силою F . Затягування забезпечує щільність з'єднання і відсутність взаємних зміщень деталей стику.

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4F_p}{\pi \cdot [\sigma]_p}}, \quad (3.3)$$

де F_p -розрахункове навантаження на один болт,

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_m}{[S]}, \quad (3.4)$$

Коефіцієнт запасу міцності при неконтрольованій затягуванні для болта М6 з вуглецевої сталі.

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4F_p}{\pi \cdot [\sigma]_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7.5 \cdot 10^3}{\pi \cdot \frac{200}{5}}} = 6.3_{\text{мм}}$$

При змінному навантаженні затягування болтів виробляється до прикладання сили:

$$F_p = [13 \cdot k \cdot (1 - \chi) + \chi] \cdot F_{\text{ср}} = [13 \cdot 3 \cdot (1 - 0.25) + 0.25] \cdot \frac{7.5 \cdot 10^3}{6} = 4 \cdot 10^3 \text{ Н} \quad (3.5)$$

Розрахунок болта за умови навантаження, але з контрольованим затягуванням.

Коефіцієнт запасу для болтів з вуглецевої сталі при статичному навантаженні

Підбираємо довжину болта і його різьбової частини, а також гайку для цього болта.

$l = 50\text{мм}$, $l_0 = 18\text{мм}$, висота гайки $H_g = 5\text{мм}$

Болт М6х50.36 ГОСТ 7798-70

Гайка М6.4 ГОСТ 5915-70

Визначає аналітично величину попереднього затягування болта.

$$F_{з\text{зм}} = [k \cdot (1 - \chi)] \cdot F_{\text{зм}} = 3 \cdot (1 - 0.137) \cdot \frac{7.5}{6} = 3.2\text{Н}, \quad (3.6)$$

$$\chi = \frac{\lambda_{\delta}}{\lambda_{\text{в}} + \lambda_{\delta}} = \frac{146 \cdot 10^{-6}}{9.2 \cdot 10^{-6} + 146 \cdot 10^{-6}} = 0.137, \quad (3.7)$$

$$A_{\text{в}} = \frac{\pi \cdot d^3}{4} = \frac{\pi \cdot 6^3}{4} = 28.3 \quad (3.8)$$

Розрахунок болта на статичну міцність (за максимальними напруженням).

$$S = \frac{\sigma_{\text{лм}}}{\sigma_{\text{вм\text{мк}}}} = \frac{\sigma_{\text{ж}}}{\sigma_{\text{вм\text{мк}}}} \geq [S], \quad (3.9)$$

де $\sigma_{\text{м\text{мк}}}$ - максимально можливі напруги в болті.

$$\sigma_{\text{вм\text{мк}}} = \frac{1.3 \cdot F_{з\text{зм}} + F_{\text{в}}}{A_{\text{в1}}} = \frac{1.3 \cdot 3.2 + 0.17}{19} = 0.22$$

3.4 Розрахунок параметрів ерліфту

Для розрахунку параметрів ерліфта задано такі вихідні дані: геометрична висота підйому води (відстань від динамічного рівня рідини до точки її скиду) становить $H_r = 35$ м, а витрата води $Q = 13$ м³/год.

Необхідно визначити глибину занурення форсунки відносно рівня зливу води ННН, діаметри водопідйомної та повітряної труб, витрату повітря V , потрібну для підйому заданої кількості води, а також робочий тиск і потужність компресора.

Глибину занурення форсунки ННН розраховуємо за формулою:

$$H = kH_r \quad (3.10)$$

де k - коефіцієнт занурення труби, який вибирають залежно від геометричної висоти підйому H_r . Від його значення також залежить коефіцієнт корисної дії ерліфта $\eta_{\text{ерл}}$. Відповідно до рекомендацій Я.С. Сурешиця $k = 2,2$, $\eta_{\text{ерл}} = 0,3$ (для $H_r = 35$ м),

$$\text{Тоді} \quad H = 2,2 \cdot 35 = 77 \text{ м.}$$

Діаметр водопровідної D і повітряної d труб підбираємо залежно від витрати води $Q = 13$ м³/год = 3,6 л/с.

Для діапазону витрат 3–9 л/с рекомендується приймати:

$$D=75 \text{ мм, } d=30 \text{ мм, при діаметрі обсадної труби } D_{\text{обс}}=150 \text{ мм.}$$

З урахуванням стандартних розмірів труб уточнюємо їх параметри: зовнішній діаметр водопідйомної труби становить 89 мм при товщині стінки 2,5 мм, а повітряної труби — 38 мм при товщині стінки 2,0 мм. Використовуються електрозварні прямошовні труби згідно з ГОСТ 10704–76.

Витрату стисненого повітря, необхідну для підйому заданого об'єму води, визначаємо за формулою:

$$V = 1,2QV_0 \quad (3.11)$$

де V_0 - питома витрата повітря на підйом 1 м³ води, м³,

$$V_0 = \frac{H_{\Gamma}}{2,3\eta_{\text{ерл}} \lg \frac{h+10}{10}} \quad (3.12)$$

$$V_0 = \frac{35}{2,3 \cdot 0,3 \cdot \lg \frac{42+10}{10}} = 3,9 \text{ м}^3,$$

Після підстановки відповідних значень отримаємо:

$$V = 1,2 \cdot 13 \cdot 3,9 = 101 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Робочий тиск p (МПа) компресора визначається за залежністю:

$$p = 0,0098 (H - H_{\Gamma} + h_{\text{ТР}}) \quad (3.13)$$

де $h_{\text{ТР}}$ – гідравлічні втрати напору в повітряній трубі, приймаємо $h_{\text{ТР}} = 3 \text{ м}$.

$$p = 0,0098 (77 - 35 + 3) = 0,4 \text{ МПа}.$$

За отриманими параметрами ($p = 0,4 \text{ Мпа}$ і витратою повітря $V = 101 \text{ м}^3/\text{год}$) обираємо компресор марки ВК-3/4, який має такі технічні характеристики: продуктивність - $180 \text{ м}^3/\text{год}$, робочий тиск - $0,4 \text{ МПа}$, кількість ступенів тиску - 1; потужність електродвигуна - $15,8 \text{ кВт}$.

Діаметр отворів форсунки приймаємо рівним 6 мм. Їх кількість визначаємо з умови, щоб їх сумарна площа отворів у 1,5 рази перевищувала площу поперечного перерізу повітряної труби. Ця вимога виконується при кількості отворів $n = 43$.

Об'єм ресивера обчислюємо за формулою:

$$V_{\text{Рес}} = (1,5 \dots 3,0) \sqrt{V} \quad (3.14)$$

де витрата повітря V підставляємо в $\text{м}^3/\text{хв}$,

У результаті отримаємо:

$$V_{\text{Рес}} = 2,3 \sqrt{1,68} = 3 \text{ м}^3.$$

Таким чином при аналізі конструкції водопідіймального обладнання встановлено:

- що найбільшу питому вагу обладнання для піднімання води займають насоси;
- лише в деяких випадках можливе використання іншого водопідіймального обладнання.

Насосне обладнання яке використовується для піднімання води являє собою в основному відцентрові насоси які можуть бути як поверхневими так і заглибними, має суттєвий недолік, такий якщо в воді велика кількість домішок піску насосний агрегат швидко виходить з ладу. Проведення монтажних робіт заглибних насосів потребує додаткового технологічного обладнання і затрат.

Тому для ліквідації вказаних недоліків пропонуємо конструкцію ерліфта, що забезпечує стабільну роботу, підвищує продуктивність та зменшує питому витрату повітря.

ВИСНОВКИ

Стабільне енергетичне та водне забезпечення є однією з основних умов ефективної роботи сучасних тваринницьких комплексів. Водночас у більшості сільських населених пунктів не передбачено дублюючих систем водопостачання, що під час виникнення аварій негативно впливає на виробничі процеси ферми, а також на продуктивність і фізіологічний стан тварин.

Для забезпечення водою ферми на 200 голів ВРХ, необхідно мати водонапірну башту БР-15У, насос 1ЕЦВ6-6,3-140 і 20 напувалок типу АП-1.

З метою створення стійкого водопостачання при аварійних ситуаціях пропонуємо на проектній фермі використовувати аварійні засоби водопостачання.

Тому при виході з ладу існуючих глибинних насосів пропонуємо використовувати модернізовану водопідйомну установку.

Застосування даного ерліфта дозволяє за рахунок подачі імпульсів робочого повітря за часом при одночасній повноті передачі енергії робочого повітря середовищу, що транспортується, по довжині піднімальної труби збільшити коефіцієнт ковзання фаз і здійснити ефективний розмив верхнього шару твердого матеріалу в усмоктувальній трубі ерліфта. Це забезпечує стабільність роботи, підвищує продуктивність ерліфта, зменшує питому витрату повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бендера І. М. Інженерні системи аграрного виробництва. Кам'янець-Подільський : Абетка, 2021. 406 с.
2. Березівський П. С. Системи водопостачання сільськогосподарських підприємств. Львів : Сполом, 2018. 276 с.
3. Бойко В. С. Експлуатація насосних установок. Харків : Фактор, 2019. 240 с.
4. Водяницький Г. П. Методичні вказівки з курсового і дипломного проектування “Проектування і розрахунок технологічних процесів тваринницьких підприємств промислового типу”. Житомир – 2005 – 195 с.
5. Бойко В. С., Гуменюк А. П. Вплив режимів роботи насосів на споживання електроенергії. Енергетика та автоматика. 2022. № 4. С. 55–63.
6. Іванов М. М. Автоматизація технологічних процесів у тваринництві. Київ : Аграрна наука, 2021. 310 с.
7. Калетнік Г. М., Гончарук І. В. Інженерне забезпечення технологічних процесів у тваринництві. Вінниця : Нова Книга, 2020. 412 с.
8. Калетнік Г. М., Пришляк В. М. Підвищення енергоефективності насосних агрегатів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2022. № 2. С. 34–42.
9. Коваленко В. П. Системи водопостачання сільськогосподарських підприємств. Львів : Сполом, 2018. 276 с.
10. Кравченко В. С. Гідравліка і насоси. Київ : Ліра-К, 2021. 344 с.
11. Кравченко В. С. Ресурсозберігаючі технології у тваринництві. Київ : ННЦ ІАЕ, 2020. 352 с.
12. Лисенко С. В. Дослідження водоспоживання корів залежно від продуктивності. Тваринництво України. 2021. № 7. С. 21–25.
13. Маліновський О.М. Значення механізації водопостачання та обґрунтування необхідності удосконалення водопідіймальної установки. Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей

- знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч.3. С.77-78.
14. Маліновський О.М. Аналіз конструкцій водопідіймального обладнання. Наукові читання – 2026: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч.3. С.146-149.
 15. Мельник І. І., Бондар С. М. Сучасні технології автоматизованого напування великої рогатої худоби. Вісник аграрної науки. 2020. № 8. С. 52–58.
 16. Мельник І. І., Адамчук В. В., Грищенко В. І. Механізація та автоматизація виробничих процесів у тваринництві. Київ : Аграрна освіта, 2018. 430 с.
 17. Петренко В. Г. Енергоощадні технології водопостачання тваринницьких підприємств. Агросвіт. 2024. № 2. С. 38–44.
 18. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва. Київ : Кондор, 2017. 731 с.
 19. Романенко О. В. Автоматизація систем водозабезпечення на фермах ВРХ. Техніка АПК. 2023. № 6. С. 29–35.
 20. Руденко В. В. Аналіз систем водопостачання тваринницьких комплексів. Техніка і технології АПК. 2021. № 5. С. 14–19.
 21. Чумаченко М. Г. Насоси та насосні станції. Київ : Кондор, 2017. 284 с.