

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Яненко Євгеній Олександрович

УДК 62-93:681.5

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

“Підвищення довговічності робочих органів відцентрових насосів в умовах вирощування продукції рослинництва захищеного ґрунту”

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Яненко Є.О.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко В. М.

К.т.н., доцент

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Яненко Є.О. “Підвищення довговічності робочих органів відцентрових насосів в умовах вирощування продукції рослинництва захищеного ґрунту”. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – “Агроінженерія”. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Аналіз систем зрошення в теплицях показує, що головною частиною системи є відцентрово насосні агрегати, вони забезпечують головну функцію - транспортування різного виду рідин до рослин, що поливаються. При цьому є необхідність у вивченні показників надійності відцентрових насосів і розробці заходів для запобігання виникненню раптових відмов.

Особлива увага була відведена фізичним основам формування відмов відцентрових насосів. Аналіз відмов відцентрових насосів в наслідок їх специфіки можуть складати окремі наукові питання, давши відповідь на які, сприятимуть підвищенню надійності устаткування та забезпечити раціональну систему ТО та ремонту.

На основі запропонованої структурної схеми відцентрового насосу була побудована структурно-наслідкова діагностична модель та визначений вплив дефектів ВНА на зміну їх технологічних параметрів.

При визначенні параметрів надійності, головним параметром який виводить з ладу відцентрово насосні установки є питома енергія, що затрачається насосом, а отже даний параметр визначається як функція яка безпосередньо впливає на імовірність безвідмовної роботи насосного агрегату.

Практичне значення одержаних результатів – полягає у поліпшенні ефективності проведення діагностування відцентрових насосів, що в свою чергу підвищить загальну роботоздатність всієї системи зрошення продукції рослинництва захищеного ґрунту.

Ключові слова: відцентровий насос, надійність, захищений ґрунт, теплиця, роботоздатність, діагностування, діагностична модель, дефекти, відмови.

ABSTRACT

Yanenko Y.O. "Increasing the durability of the working bodies of centrifugal pumps in the conditions of growing crop products of protected soil" - Manuscript.

Master's work for Master "Master" specialty 208 "Agroengineering". Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

Analysis of irrigation systems in protected soil shows that the main component of the system are centrifugal pumps, which perform the main function - transporting liquid to irrigated plants. There is a need to study the reliability of centrifugal pumps and to develop measures to prevent sudden failures.

Particular attention was paid to the physical basis of the formation failures of centrifugal pumps. The study of the failures of centrifugal pumps due to their specificity may be some scientific problems, the solution of which will help increase the reliability of equipment and ensure a rational system of maintenance and repair.

Based on the proposed structural scheme of the centrifugal pump, a structural-consequential diagnostic model was built and the influence of centrifugal pump defects on the change of their technological parameters was determined.

When determining the reliability parameters, the main parameter that leads to the failure of centrifugal pumps is the parameter of specific energy consumed by the pump, and therefore it is a function that affects the probability of failure of the pump.

The practical significance of the obtained results is to improve the efficiency of diagnosing centrifugal pumps, which in turn will increase the overall efficiency of the entire irrigation system of crop production of protected soil.

Keywords: centrifugal pump, reliability, protected soil, greenhouse, operability, diagnostics, diagnostic model, defects, failures.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. Вплив технічного стану культиваційних систем захищеного ґрунту на продовольчу безпеку України	7
РОЗДІЛ 2. Дослідження технічного стану відцентрових насосів	11
РОЗДІЛ 3. Аналіз зміни роботоздатного стану та визначення показників надійності відцентрових насосів	17
ВИСНОВКИ	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	27

ВСТУП

Спостерігається недостатня кількість наукових досліджень надійності відцентрово насосних агрегатів, що є частиною культиваційних систем зрошення, які використовуються в галузі тепличного рослинництва, що характеризується агресивними умовами їх використання.

Як правило моделі надійності обмежені в використанні, границями в яких з відповідною точністю описуються процеси відповідні реальним умовам експлуатації. Велика увага повинна відводитися фізичним основам формування відмов насосного обладнання. Вивчення відмов відцентрових насосів в наслідок їх специфіки можуть скласти окремі наукові питання, давши відповідь на які сприятимуть в підвищенні надійності обладнання та раціональної системи ТО і ремонту.

Відповідно до поставленої проблеми **метою роботи** є розробка науково-технічного забезпечення працездатності складових систем зрошення продукції теплиць, а саме відцентрових насосів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні наукові та прикладні задачі:

- провести аналіз стану проблеми забезпечення працездатності відцентрових насосів, які використовуються в галузі рослинництва захищеного ґрунту;
- провести аналіз зміни роботоздатного стану відцентрових насосів;
- побудувати структурно-наслідкову діагностичну модель;
- дослідити вплив дефектів відцентрових насосів на зміну їх технологічних параметрів;
- дослідити взаємозв'язок між показниками надійності насоса обладнання з параметрами його роботи.

Об'єкт дослідження – технологічний процес зрошення рослин в умовах захищеного ґрунту з урахуванням небезпеки раптових відмов відцентрових насосів.

Предмет досліджень – забезпечення працездатності та надійності насосного обладнання.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження базуються на використанні методів теорії ймовірностей і випадкових процесів, математичної статистики, статистичного моделювання, теорії надійності машин.

Практичне значення одержаних результатів – полягає у поліпшенні ефективності проведення діагностування відцентрових насосів, що в свою чергу підвищить загальну роботоздатність всієї системи зрошення продукції рослинництва захищеного ґрунту.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

1. Савченко В.М., Яненко Є.О. Дослідження технічного стану складових систем зрошення // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» 20-21 лют. 2020 р. / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2020. – С. 187-188.
2. Яненко Є. О. Дослідження надійності відцентрових насосів / Є.О. Яненко, В.М. Савченко // Матеріали I Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції "Теорія і практика сучасної науки очима молоді", 26 березня 2020 р. Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 153-154.
3. Яненко Є.О., Савченко В.М. Визначення показників надійності відцентрового насоса / Матеріали IV міжнародної науковопрактичної конференції «Біоенергетичні системи», 29 травня 2020 р. – Житомир: Поліський національний університет, 2020. – С. 104-107.
4. Яненко Є.О. Дослідження впливу несправностей відцентрових насосів на його технічний стан в умовах вирощування продукції захищеного ґрунту /Студентські читання – 2020: Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2020». 26 жовтня 2020 р. Житомир: Поліський національний університет, 2020. – С. 255-258.

Структура роботи: Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків і списку використаних джерел. Містить 30 сторінок друкованого тексту, 2 таблиці, 9 рисунків. Список використаних джерел нараховує 31 позицію.

РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КУЛЬТИВАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ НА ПРОДОВОЛЬЧУ БЕЗПЕКУ УКРАЇНИ

Враховуючи тенденції зміни клімату, природні катаклізми та змінення якісних показників ґрунтів, пріоритетним для України є ставка на розвиток галузі виробництва продукції в тепличних умовах. В даний час в світі 497,8 тис. гектарів теплиць. За останні 6 років площа тепличних споруд у світі зросла до 25 %.

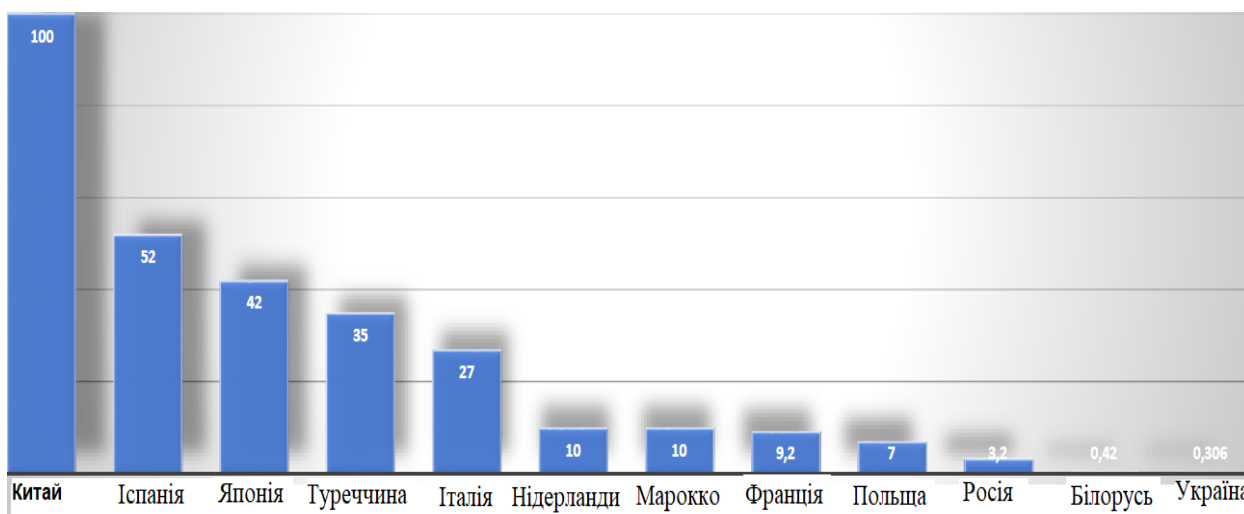


Рисунок 1.1 Площі тепличних споруд в різних країнах світу, тис. га (Джерело BestCrop LLC)

Великою перевагою виробництва продукції у високоякісних тепличних будовах є:

- гарантування високої якості продукту;
- зменшення ризиків природнього походження;
- якість продукції та екологічність;
- збільшення урожайності;
- строки зберігання;
- можливість вирощування органічної продукції за стандартами ЄС.



Рисунок 1.2 Урожайність продукції рослинництва у різних типах культиваційних споруд

Незалежно від способу культивації продукції тепличного рослинництва, вони всі забезпечені сучасними системами поливу. Система зрошення в теплицях - це сукупність гідротехнічних будов, каналів і трубопроводів які відповідають за забір рідини з джерела, переміщення і розподілу її між вирощуваними рослинами.

Трудомісткість операції зрошення та врожайність продукції теплиць залежить від надійності та періоду безвідмовної роботи відцентрово насосних агрегатів. Класифікація систем поливу проаналізована в роботі [1]. Автоматизація системи зрошення прилив-відлив в тепличному середовищі розглянуті в роботі [1]. А питання надійності технологічного устаткування, в тому числі і відцентрово насосного обладнання, при вирощуванні тепличної продукції в агропромисловому комплексі України проаналізовано в роботах [2,3].

Великий вибір іригаційних систем в умовах тепличного вирощування містить в собі: устаткування для крапельного зрошення, дощування, туманостворення, поливу системою підтоплення. Незалежно від обраної системи поливу, для її роботи потрібно обладнати іригаційне приміщення для підготовки рідини, готування, накопичення та зберігання маточних сумішей, добрив та керування процесами зрошення і живлення рослин. Для варіації дозування поживних речовин система забезпечена контролем дренажу, він потрібен для вирощування на гідропоніці. Це обладнання автоматично

контролює час та частоту зрошення у відповідності до потрібного відсотку дренажу [4,5,6].

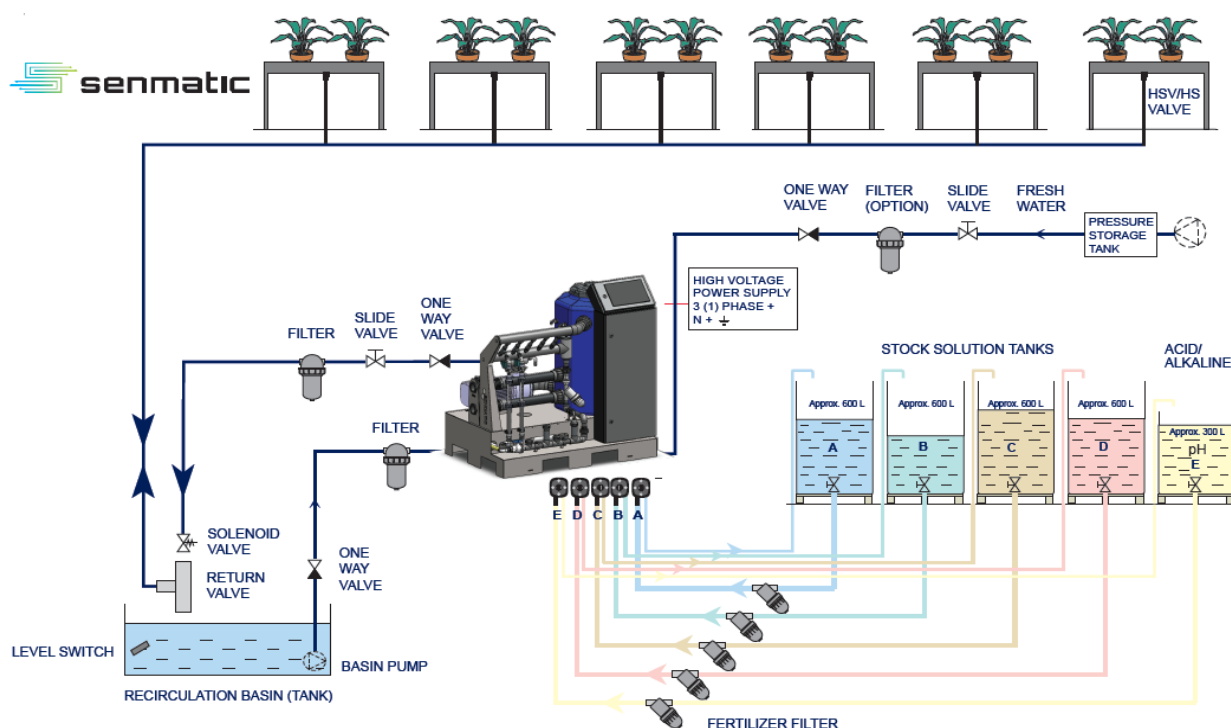


Рисунок 1.3 Автоматизована система зрошення (Senmatic, Данія)

Для контрольованого поливу рослин застосовується система крапельного поливу. Яка сформована з труб, рукавів та крапельниць. Існують декілька типів відповідних систем, всі вони задовольняють оптимальне зрошення та подачу поживної речовини індивідуально кожній рослині.

Щоб вирощувати невисокі культури застосовується технологія дощування, в ній вода подається на ділянку поливу у вигляді дощу відповідним дощувальним агрегатом, який вибризкує струмінь рідини у повітря і розпилює її на дрібні краплинки.

При вирощуванні рослин які дуже вимогливі до підтримання високої вологості в повітрі теплиць використовується устаткування туманостворення. В даному обладнанні вода під дуже високим тиском розпилюється форсунками утворюючи туман. Вода до форсунок направляється з допомогою

трубопроводів. Тиск системи забезпечується насосним обладнанням високого тиску [4,5,7,8].

Основним варіантом поверхневого зрошення в теплицях є підтоплення. Воно може бути реалізоване як заливна підлога або у подібні заливних столів. Система функціонує на засадах тимчасового підтоплення субстрату з кореневою масою та подальшим зливанням рідини. Операція підтоплення або зливання рідини виконується насосами, які закачують поживну рідину з основного резервуару у піддон, де вирощується відповідна культура, потім залишки рідини вертаються назад у основний резервуар. Необхідна періодичність циркуляції рідини виконується таймерами [8]. Така технологія дозволяє набагато економніше застосовувати рідину та мін. добрива. Якісні та кількісні показники продукції тепличного рослинництва напряму залежать від технічного стану відповідного технологічного устаткування. В роботах [2, 9] оглянуто вплив культиваційних споруджень та технологічних систем на показники мікроклімату, як головного чинника вищезазначених показників, а також питання забезпечення надійності та довговічності устаткування при вирощуванні продукції в теплицях, як невід'ємної частини забезпечення продовольчої безпеки України.

Висновки до розділу 1

Так як пріоритетним в найблищому майбутньому для України є розвиток галузі виробництва продукції в теплицях. Для більш стрімкого і якісного розвитку галузі її потрібно забезпечити новітнім високоякісним устаткуванням. В свою чергу це обладнання потребує забезпечення більш якісного обслуговування та моніторингу технічного стану насосного обладнання. Саме тому потрібно робити ставку на діагностування та забезпечення належної роботи насосної системи.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

Надійність насосного обладнання потрібна для збільшення рівня автоматизації, зниження затрат на ремонт, втрат від простою, забезпечення безпеки праці людей. Надійніша техніка дозволяє підвищити продуктивність, коефіцієнт використання техніки і значно зменшити експлуатаційні затрати.

Аналіз літературних джерел, які присвячені питанням дослідження технічного стану відцентрово насосного обладнання свідчить, що вони достатньо вивчені [10,11,12,13,14,15,16,17,18,19]. Однак спостерігається недостатня кількість наукових досліджень надійності відцентрових насосів, що є частиною культивацийних систем зрошення і які застосовуються в тепличній галузі, що характеризується агресивними умовами роботи.

Як правило моделі надійності обмежені в використанні, границями в яких з відповідною точністю описуються процеси відповідні реальним умовам їх використання. Велика увага повинна відводитися фізичним основам формування відмов насосного обладнання. Вивчення відмов відцентрових насосів в наслідок їх специфіки можуть складати окремі наукові питання, давши відповідь на які сприятимуть в підвищенні надійності обладнання та раціональної системи ТО і ремонту.

Вирішення питання надійності – це великий резерв збільшення ефективності виробництва та зменшення матеріальної збитковості. Особливість такої проблеми як надійність є її взаємозв'язок з всіма етапами такими як проектування, виготовлення та використання насосного обладнання починаючи з моменту задумки створення відповідної машини і до прийняття постанови про її утилізацію. Так як, питання надійності є комплексним і потребує вирішення в сферах виробництва та застосування насосів, збирає й компонує все те, що сприяє збільшенню працездатності обладнання. Раніше питання надійності вирішувалася методом проектування машин із дуже великим запасом по міцності, що в свою чергу призводило до збільшення їх габаритів, маси і металомісткості [20].

Питання підвищення надійності насосного обладнання є не лише суто технічним, а й великою мірою економічним. Затрати на підвищення надійності здебільшого необхідно порівнювати із витратами на їх експлуатацію.

Будь-яка технічна система при експлуатації, зберіганні та транспортуванні піддається внутрішньому і зовнішньому впливу, у результаті якого порушується її працездатний стан [21,22]. Розглянемо основні процеси пошкодження відцентрово насосних систем (рис.2.1).

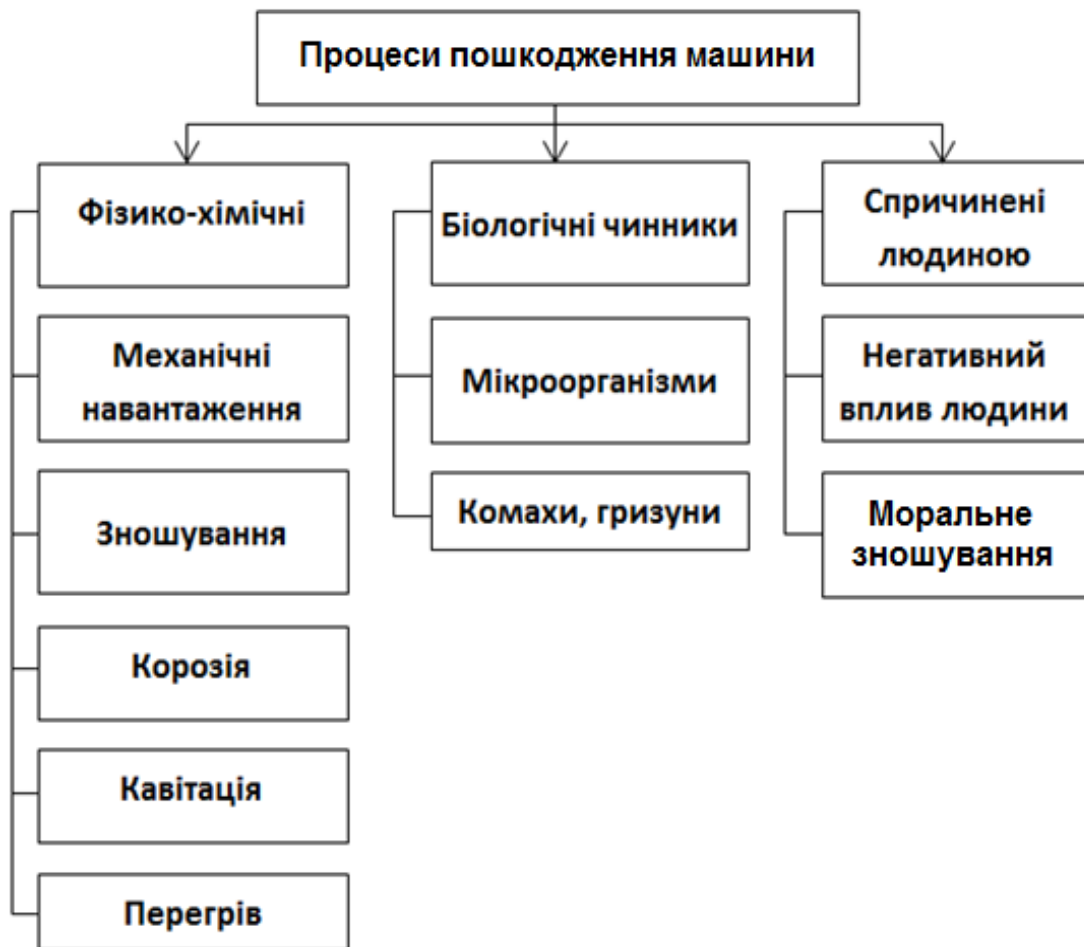


Рисунок 2.1 Процеси пошкодження технічних систем

Аналіз систем зрошення, які використовують в теплицях показує, що для різних видів культур, потрібно застосовувати різні системи зрошення. Загалом принцип функціонування всіх систем приводиться до того, що необхідно забезпечувати переміщення рідини чи поживної суміші до вирощуваної рослини. В оглянутих методах, переміщення рідини виконується безпосередньо з допомогою насосів, які є головною робочою ланкою будь-яких

систем поливу. Провівши аналіз можна засвідчити що, більшість використовуваних насосів є відцентровими. Перекачування рідини в них або нагнітання тиску відбувається за допомогою обертання одного або деякої кількості робочих коліс. Тому в результаті дії робочого колеса на рідину нагнітається необхідний тиск в усій системі водопостачання в теплицях.

Основним робочим тілом відцентрового насоса є робоче колесо, що виконує обертання всередині корпусу і скріплене з валом. Воно має будову з двох або більше дисків, які віддалені на відстані один від іншого. Між ними встановлені лопаті, які зігнуті в іншому напрямку від обертань робочого колеса. Сумісно вони створюють між лопатеві канали робочого колеса, які повністю заповнені рідиною. При обертах робочого колеса на рідину діє відцентрова сила, в наслідку чого в самому центрі робочого колеса утворюється розрідження, а по краях - підвищений тиск. Щоб забезпечити безупинний потік рідини через відцентровий насос потрібно щоб рідина підводилась до робочого колеса і відводилась від нього. Рідина через всмоктувальний патрубок і трубопровід приходить на передній диск робочого колеса через різницю тисків на вільній поверхні рідини і в центральній області [9,23,24].

Для того щоб відводити рідини, в корпусі насоса є розширююча спіральна камера, туди і потрапляє рідина, яка викидається робочим колесом. Данна камера здійснює перехід в короткий дифузор і тим самим створює напірний патрубок, який в свою чергу під'єднаний до напірного трубопроводу. Як привід в відцентровому насосі можна застосовувати любий високообертовий двигун. Як правило для цього використовують електродвигуни [23].

Аналіз конструктивних рішень в відцентрових насосах показав, що як матеріал для виконання його головних деталей використовують сірий чавун (робоче колесо та корпус), бронзу для захисних втулок, нержавіючі сталі для корпусів та валів, кераміку, пластмаси для торцевих ущільнень та робочих коліс [25].

Основні несправності відцентрових насосів та причини їх виникнення переставлені на рис. 2.2.

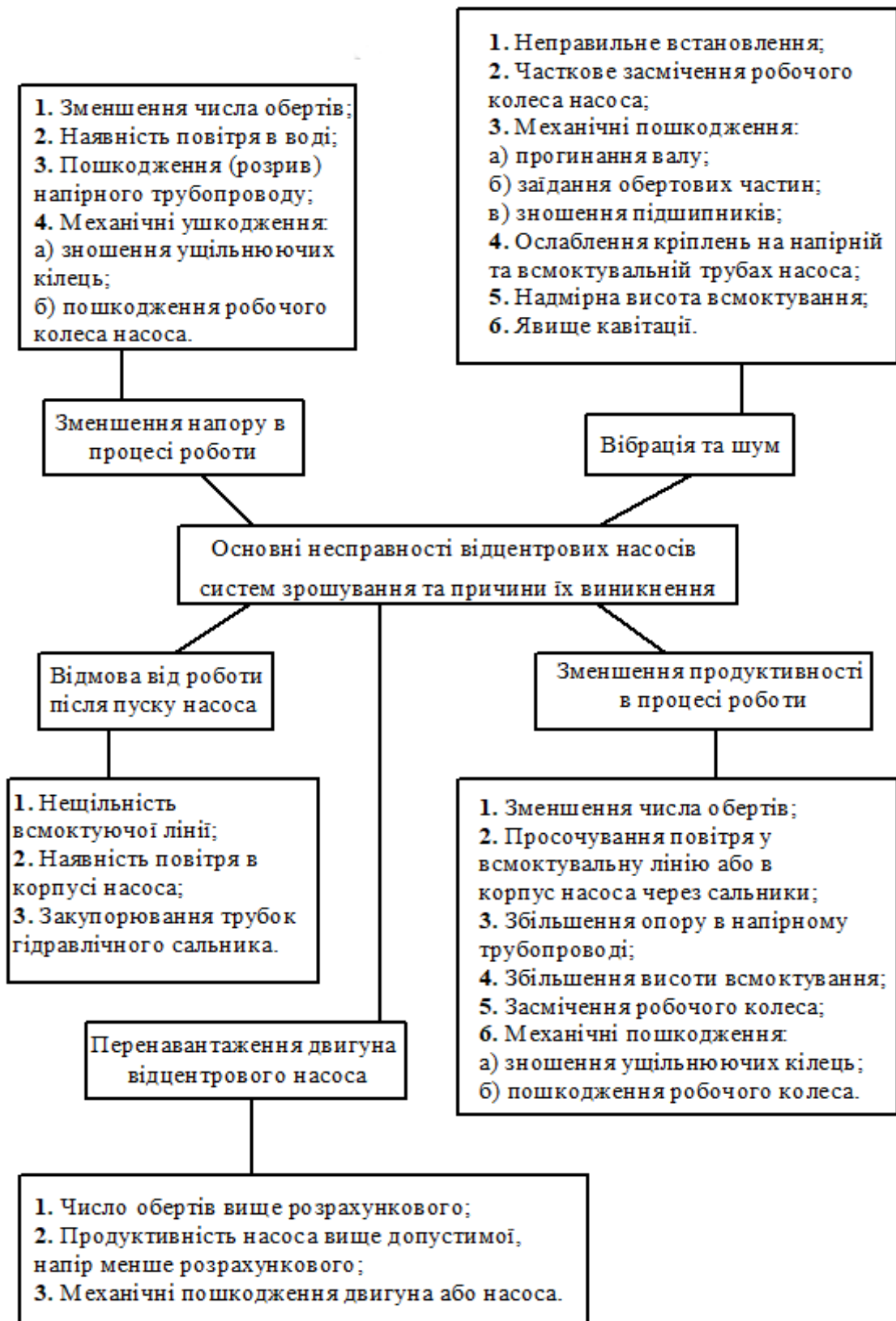


Рис 2.2 Основні несправності відцентрових насосів систем зрошування та причини їх виникнення

Ерозійне та корозійне зношування, вкрай неточні зазори в проточному сегменті насоса, потрапляння в насос інерідних тіл, вагомий осьовий здви́г ротора внаслідок некоректної збірки насоса – це головні причини поломок робочих коліс.

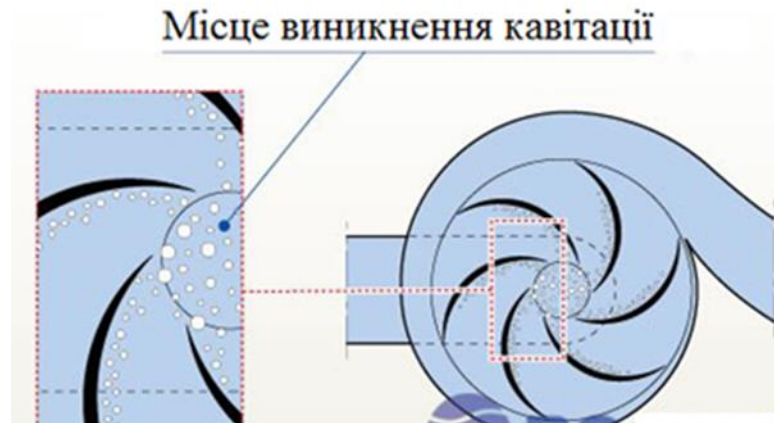


Рисунок 2.3 Місця виникнення кавітації

Кавітація дуже негативно впливає на роботу насосів і їх технічний стан. При цьому відбуваються зміна технологічних параметрів роботи насоса (істотне зменшення напору, подачі, коефіцієнта корисної дії.), зруйновані поверхні деталей такі як викришування металу, (рис. 2.4), також все це супроводжується шумом і вібрацією.

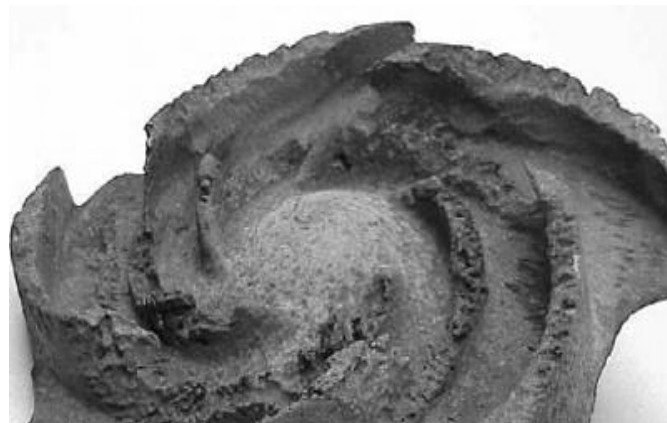


Рисунок 2.4 Негативний вплив кавітації на напрямний апарат насоса

Їх строк використання напряму залежить від матеріалу, з якого їх виготовили, та від якості конструкційного виконання.

Безперебійність подачі і забезпечення потрібних тисків на всіх сегментах системи водопостачання в більшій мірі визначаються надійністю роботи насосного устаткування. Порушення роботи якого обумовлюється різними випадковими відмовами, в результаті яких виводяться з ладу її елементи (будови, насоси, двигуни, сегменти трубопроводів і т.д.).

Аналіз й вивчення параметрів ймовірності таких подій і оцінка надійності технічних систем мають відношення до теорії надійності [26].

Висновки до розділу 2

При введенні насосної установки в експлуатацію потрібно оцінити її надійність, визначити тривалість експлуатації обладнання до наступного ремонту, період збереження оптимальних параметрів роботи та ін. Особливо гострим є питання забезпечення надійності всіх елементів після ремонтних робіт.

В процесі роботи виявляються помилки і прорахунки, допущені при розробленні проекту насосної установки, а також якість будівельних конструкцій і монтажу обладнання. Тому на персонал насосної установки покладається велика відповідальність, яка відображається не тільки в правильній експлуатації механізмів і машин, але і в своєчасному виявленні і усуненні можливих заводських і монтажних дефектів.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЗМІНИ РОБОТОЗДАТНОГО СТАНУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

3.1 Аналіз зміни роботоздатного стану відцентрових насосів

Відцентрові насоси - це один із головних видів насосів у світі, що має широкий сектор використання. В тому числі відцентрово насосні установки широко використовуються в тепличній галузі і вони є невід'ємною складовою всіх систем поливу та підготовки води, від надійності роботи яких залежать якісні та кількісні параметри продукції, що вирощується в умовах захищеного ґрунту. Структурна схема відцентрового насосу представлена на рисунку 3.1.

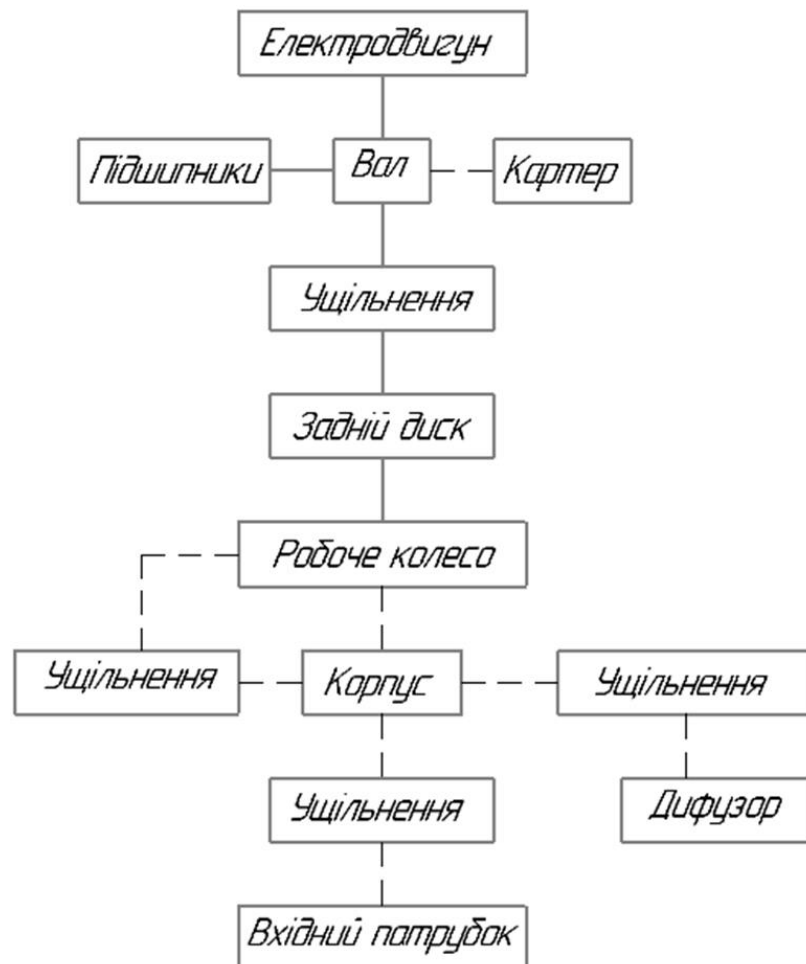


Рисунок 3.1 Структурна схема ВНА

Тому як наслідок необхідно, щоб насосне обладнання належним чином було піддано моніторингу, проведенню діагностики та підтримки їх

роботоздатного стану, що певною мірою забезпечить скорочення простоїв, затрат на оплату праці персоналу та підвищить якісні та кількісні показники продукції рослинництва захищеного ґрунту[27].

У практиці дуже широко застосовуються *структурно-наслідкові діагностичні моделі*. На рівні *I* цієї схеми міститься об'єкт який діагностується; на рівні *II* - спряження між ними. На рівні *III* показані відхилення величин, які перевищують відповідні параметри, а саме характерні несправності. На рівні *IV* розміщені робочі чи супровідні процеси, тобто діагностичні ознаки, що відповідають структурним показникам. На рівні *V* розташовані параметри діагностування, фізичні величини, з допомогою них проводять виміри робочих процесів об'єкта який діагностується і на основі цього визначають технічний стан без його попереднього розбирання [27,28].

Структурно-наслідкова діагностична модель відцентрового насосу представлена на рисунку 3.2.

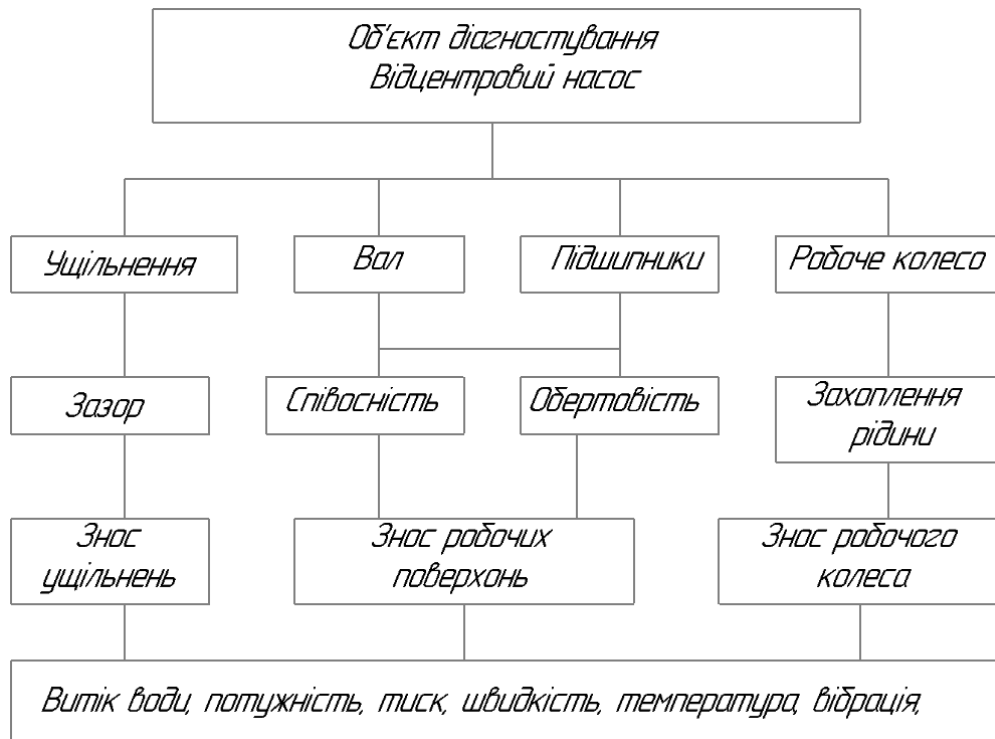


Рисунок 3.2 Структурно-наслідкова діагностична модель

Структурно-наслідкова діагностична модель створюється на основі вивчення конструктивної будови устаткування і його функціонування,

статистичного аналізу параметрів надійності та оціненні діагностичних показників [28].

В процесі експлуатації спостерігаються раптові та експлуатаційні відмови, що призводять до виходу з роботоздатного стану відцентрових насосів технологічних систем поливу продукції захищеного ґрунту [29,30]. Типи, причини та наслідки несправностей відображені в таблиці 3.1.1.

Таблиця 3.1.1

Типи, причини та наслідки несправностей відцентрових насосів

Тип несправності	Причини несправності	Наслідки несправності
Лінія всмоктування / крильчатка забита	Забруднення	Зменшення потоку рідини на виході, навантаження на систему
Зношене / зламане робоче колесо	Неправильні витрати рідини, забруднення	Зменшення потоку рідини на виході, не ефективність роботи
Корозія елементів насосу	Неправильна рідина та перевитрати рідини	Дуже серйозні відмови елементів
Зменшення всмоктувальної головки	Кавітація	Втрата ефективності насоса
Зниження тиску в насосі		Можлива ерозія корпусу крильчатки, шум та вібрація
Дисбаланс валу	Знос робочого колеса	Пожкодження валу, знос ущільнення, знос підшипників
Витік рідини	Несправність ущільнень	Залежить від типу рідини та критичність щодо часу відмови

Продовження таблиці 3.1.1

Механічний шум	Сміття на крильчатці, зігнутий вал, зношені підшипники, не жорсткий фундамент, кавітація	Можливий знос крильчатки та інших компонентів
----------------	--	---

Аналіз впливу дефектів ВНА на зміну їх технологічних параметрів відображені в таблиці 3.1.2.

Таблиця 3.1.2

Вплив дефектів ВНА на зміну їх технологічних параметрів

Дефект	Зміна параметра						
	Витік води	Лінійні розміри	Потужність	Тиск	Швидкість	Вібрація	Температура
Знос робочого колеса		+	+	+	+	+	+
Знос ущільнення	+	+		+	+		
Зміна форми робочого колеса			+	+	+	+	+
Пошкодження підшипників ковзання		+	+		+	+	+
Знос підшипників ковзання		+				+	+
Дефекти системи охолодження	+			+			+
Дефекти клапанів	+		+			+	+

3.2 Визначення показників надійності відцентрового насосу.

Головним показником надійності системи є коефіцієнт готовності [31], що має відношення до комплексних показників, його можна визначити як ймовірність, що об'єкт буде працездатним у якийсь довільний момент часу, крім запланованих, протягом них використання об'єкту за призначенням не відбувається:

$$A(t) = K_r = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_B}, \quad (1)$$

Де $T_{сер}(MTBF)$ – середній наробіток на відмову об'єкта (Mean time between failures);

$T_B(MTTR)$ – середній час до відновлення роботоздатності (Mean Time to Restoration).

Щоб визначити середній наробіток на відмову об'єкта, що представляється як відношення сумарного наробітку об'єкту, що відновлюється до математичного сподівання числа відмов протягом даного наробітку, скористаємося формулою:

$$T_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^b n_i \cdot t_{сер}}{\sum_{i=1}^b n_i}, \quad (2)$$

Де b – кількість інтервалів часу спостережень;

n_i – кількість відмов, які відбулися протягом i -го інтервалу часу;

Взявши до уваги те, що відцентрові насоси представляють собою відновлювані системи, зробимо припущення, що усякий інтервал часу спостережень є окремою складовою, яка незалежна від кожної наступної чи тих що вже були.

Тому середнє напрацювання на першу відмову в усякому елементарному інтервалі часу можемо визначити за формулою:

$$M(t) = T_{cep}^i = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) dt, \quad (3)$$

При тому що $t \geq 0$ та $P(0) = 1$ і $P(\infty) = 0$, то маємо:

$$T_{cep}^i = \int_0^t P(t) dt, \quad (4)$$

Де $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи на деякому проміжку часу.

Тоді маємо що, середній час на відновлення об'єкта великою мірою залежить від виду несправності, а також від методів та способів відновлення, що використовуються на виробництві, але загалом вона визначається як функцію від часу.

Маємо:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^b \left(n_i \cdot \frac{T_{cep}^i}{b} \right)}{\sum_{i=1}^b n_i} = \frac{\sum_{i=1}^b \left(n_i \cdot \frac{T_{cep}^i = \int_0^t P(t) dt}{b} \right)}{\sum_{i=1}^b n_i}; \quad (5)$$

При врахуванні того, що при відновленні працездатного стану об'єкту, він знаходиться в непрацездатному стані, тому кількість відмов можна виразити через інтенсивність відповідних відмов:

$$\sum_{i=1}^b n_i = \lambda(t) \cdot \sum_{i=1}^b t_i; \quad (6)$$

Тоді, основний показник надійності, а саме коефіцієнт готовності можна визначити як:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^b \left(n_i \cdot \frac{T_{cep}^i = \int_0^t P(t) dt}{b} \right)}{\sum_{i=1}^b n_i} ; \quad (7)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^b \left(n_i \cdot \frac{T_{cep}^i = \int_0^t P(t) dt}{b} \right)}{\sum_{i=1}^b n_i} + \lambda(t) \cdot \sum_{i=1}^b t_i$$

Після проведеного скорочення отримаємо:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^b \left(n_i \cdot \frac{\int_0^t P(t) dt}{b} \right)}{\sum_{i=1}^b \left(n_i \cdot \frac{\int_0^t P(t) dt}{b} \right) + \sum_{i=1}^b n_i \cdot \left(\lambda(t) \cdot \sum_{i=1}^b t_i \right)} ; \quad (8)$$

Тому маємо що, підставивши відповідні дані отримаємо взаємозв'язок між параметрами надійності насосного агрегату та параметрами роботи агрегату:

$$T_{cep}^i = \int_0^t P(t) dt = \int_0^t E(t) dt. \quad (9)$$

Висновки до розділу 3

В розділі на основі запропонованої структурної схеми відцентрового насосу була побудована структурно-наслідкова діагностична модель та визначений вплив дефектів ВНА на зміну їх технологічних параметрів. Тому при своєчасному діагностуванні можна збільшити роботоздатний період насосного агрегату, що в свою чергу призведе до більш продуктивного вирощування продукції.

При визначенні параметрів надійності, головним параметром який виводить з ладу відцентрово насосні установки є питома енергія, що затрачається насосом, а отже даний параметр i є функцією яка впливає на імовірність безвідмовної роботи насосного агрегату.

ВИСНОВКИ

1. Так як пріоритетним в найблищому майбутньому для України є розвиток галузі виробництва продукції в теплицях. Для більш стрімкого і якісного розвитку галузі її потрібно забезпечити новітнім високоякісним устаткуванням. В свою чергу це обладнання потребує забезпечення більш якісного обслуговування та моніторингу технічного стану насосного обладнання. Саме тому потрібно робити ставку на діагностування та забезпечення належної роботи насосної системи.
2. В роботі було оглянуто сучасні системи поливу, які використовуються для зрошування рослин в теплицях. Проаналізувавши системи поливу в теплицях маємо, що для різних сортів зрошуваних культур потрібно застосовувати різні системи зрошення.
3. В роботі проаналізовано питання надійності та довговічності насосного обладнання при вирощуванні тепличної продукції. Доведено, що велика увага повинна приділятися відцентровим насосам.
4. Проаналізувавши системи поливу в тепличних умовах маємо, що головною частиною системи є відцентрові насоси, які виконують основну функцію, а саме підведення рідини до рослин, що зрошуються. При цьому є необхідність у вивченні параметрів надійності відцентрових насосів і розробленні заходів для запобігання раптових відмов.
5. При введенні насосної установки в експлуатацію потрібно оцінити її надійність, визначити тривалість експлуатації обладнання до наступного ремонту, період збереження оптимальних параметрів роботи та ін. Особливо гострим є питання забезпечення надійності всіх елементів після ремонтних робіт.
6. В процесі роботи виявляються помилки і прорахунки, допущені при розробленні проекту насосної установки, а також якість будівельних конструкцій і монтажу устаткування. Тому на персонал насосної установки покладається велика відповідальність, яка відображається не

тільки в правильній експлуатації механізмів і машин, але і в своєчасному виявленні і усуненні можливих заводських та монтажних дефектів.

7. На основі запропонованої структурної схеми відцентрового насосу була побудована структурно-наслідкова діагностична модель та визначений вплив дефектів ВНА на зміну їх технологічних параметрів. Тому при своєчасному діагностуванні можна збільшити роботоздатний період насосного агрегату, що в свою чергу призведе до більш продуктивного вирощування продукції.
8. При визначенні параметрів надійності, головним параметром який виводить з ладу відцентрово насосні установки є питома енергія, що затрачається насосом, а отже даний параметр і є функцією яка впливає на імовірність безвідмовної роботи насосного агрегату.
9. Перспективою наступних досліджень є детальний розгляд функціональних відмов відцентрово насосного устаткування систем зрошування в умовах вирощування продукції рослинництва захищеного ґрунту та внаслідок їх специфіки, можуть бути сформульовані деякі наукові питання, давши відповідь на які, сприятимуть підняттю надійності як відцентрово насосного устаткування, так і всієї системи поливу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міненко С. В. Автоматизація екологічнобезпечної технології поливу рослин прилив-відлив в середовищі захищеного ґрунту / С. В. Міненко, В. М. Савченко // Органічне виробництво і продовольча безпека : [зб. доп. учасн. VI Міжнар. наук.-практ. конф.]. – Житомир : О. О. Євенок, 2018. – С. 263–267.
2. Бойко А. І. Проблеми забезпечення надійності технологічного обладнання при вирощуванні продукції захищеного ґрунту в АПК України / А. І. Бойко, В. М. Савченко, В. В. Крот // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2016. – № 6. – С. 200–203.
3. Міненко С.В. Вплив надійності насосного обладнання на технологічні процеси в умовах захищеного ґрунту/ С.В. Міненко, В. М. Савченко, О.А. Махов // Крамаровські читання : зб. тез доп. VI міжнар. наук.-техн. конф., 21-22 лют. 2019. – К. : НУБіП, 2019. – С. 248–249.
4. Міненко С.В. Аналіз технічного стану складових систем зрошування рослин в умовах захищеного ґрунту / С. В. Міненко, В. М. Савченко, О. А. Махов/ Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2019. – Вип. 198. – С. 429–436
5. Міненко С. В. Класифікація способів зняття перегріву рослин в індустриальних теплицях / С. В. Міненко, В. М. Савченко, В. В. Крот // Вісник ЖНАЕУ. – 2016. – № 1 (53), т. 1. – С. 276–282.
6. Міненко С.В. Математична модель надійності системи зрошення в теплиці / С. В. Міненко, В. М. Савченко // Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної Конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». – 2018. – С. 41-44.
7. Савосин С.И. Интеллектуальная система контроля влажности и температуры воздуха в теплице: автореф. дис. .канд. тех. наук: спец 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами" / Савосин Сергей Иванович; РГАЗУ. - М., 2009. - 18 с.
8. Алиев Э.А. "Выращивание овощей в гидропонных теплицах" 2-е издание, дополненное и переработанное – Киев: Урожай, 1985. – 160 с.

9. Гіль Л.С., Пашковський А.І., Суліма Л.Т. "Сучасні технології овочівництва відкритого і закритого ґрунту" Ч 1 Закритий ґрунт. Навчальний посібник. - Вінниця: Нова книга, 2008 - 368 с.
10. S. Shiels, "Centrifugal pump troubleshooting Part two: a retrospective approach," *World pumps*, vol. 2001, pp. 38-42, 2001.
11. R. Rayner, *Pump Users Handbook*. Oxford: Elsevier Advanced Technology 1995.
12. R. K. Turton, *An introductory guide to pumps and pumping systems*. London: Mechanical Engineering Publications 1993.
13. Karassik, Igor J., J. P. Messina, P. Cooper, and C. C. Heald, *Pump Handbook (3rd Edition)*. New York: McGrawHill, 2001.
14. R. Palgrave, "Diagnosing Pump Problems From Their Noise Emissions Signature," in *New Challenges – Where Next? – 11th*
15. *International Conference of the British Pump Manufacturers' Association UK: BHRA*, 1989, pp. 9 - 28.
16. T. Hicks and T. W. Edwards, *Pump application engineering* New York: McGraw-Hill 1971.
17. J. Tuzson, *Centrifugal pump design* New York: Chichester: Wiley, 2000.
18. S. Shiels, "Protecting centrifugal pumps at low flow," *World pumps*, vol. 1999, pp. 25-27, 1999.
19. A. Ismaier and E. Schlücker, "Fluid dynamic interaction between water hammer and centrifugal pumps," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 239, pp. 3151-3154, 2009
20. Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів : навчальний посібник / В. Ф. Герман, В. О. Панченко, О. Г. Гусак, А. А. Папченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. — С. 11 – 12.
21. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. — С. 10 – 12.

22. Надійність та експлуатація гідромашин і гідроприводів : навчальний посібник / В. Ф. Герман, В. О. Панченко, О. Г. Гусак, А. А. Папченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. — С. 17 – 25.
23. Краснов В.И. , Жильцов А.М., Набержнев В.В. Ремонт центробежных и поршневых насосов нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий: Справ. изд. М.: Химия, 1996. 320 с. ил.
24. Земенков Ю.Д. и др. "Эксплуатация насосно-силового оборудования на объектах трубопроводного транспорта" Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. — 456 с.
25. Насоси відцентрові загальнопромислового застосування. Вимоги до проектування, виготовлення, постачання, монтажу та експлуатації. Звідправил — К.: Держспоживстандарт України, 2002. — С. 15 – 16.
26. Інтернет ресурс - <http://bibliograph.com.ua/spravochnik-117-nasos/76.htm>
27. Яненко Є. О. Дослідження надійності відцентрових насосів / Є.О. Яненко, В.М. Савченко // Матеріали І Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції "Теорія і практика сучасної науки очима молоді", 26 березня 2020 р. Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 153-154.
28. Сахно Є. Ю., Дорош М. С., Ребенок А. В. Менеджмент сервісу: теорія та практика: Навч. посіб. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — С. 60 – 61.
29. Савченко В.М., Яненко Є.О. Дослідження технічного стану складових систем зрошення // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» 20-21 лют. 2020 р. / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2020. – С. 187-188.
30. Яненко Є.О. Дослідження впливу несправностей відцентрових насосів на його технічний стан в умовах вирощування продукції захиченого ґрунту /Студентські читання – 2020: Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2020». 26

жовтня 2020 р. Житомир: Поліський національний університет, 2020. – С. 255-258.

31. Яненко Є.О., Савченко В.М. Визначення показників надійності відцентрового насоса / Матеріали ІV міжнародної науковопрактичної конференції «Біоенергетичні системи», 29 травня 2020 р. – Житомир: Поліський національний університет, 2020. – С. 104-107.