

Тема: «Удосконалення технології підвищення працездатності мембранних компресорів, задіяних на підприємствах сільського господарства»

Виконав: Бородіна В.В.

Керівник: Тарельник В. Б.

ВСТУП

Глобальне потепління та концентрація вуглекислого газу (CO_2) в атмосфері є критичними проблемами. Сільське та лісове господарство роблять значний внесок у глобальні викиди парникових газів, на них припадає майже 20% еквівалентів вуглекислого газу, 42% метану та 75% оксидів азоту (NO_x). Більшість цих забруднюючих речовин утворюється в результаті інтенсивного тваринництва та ручної праці на землі. Однак двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), які є переважаючим джерелом енергії в лісовій та сільськогосподарській промисловості, також вносять значний внесок [1]. Традиційна сільськогосподарська техніка, що працює на паливі, така як трактори та комбайни, відома своєю низькою енергоефективністю та високим рівнем викидів, що посилює вплив на навколишнє середовище. Ці машини часто працюють у неоптимальних умовах, що призводить до надмірного споживання палива та проблем з обслуговуванням.

Переваги електрифікації виражаються в спрощенні обслуговування та експлуатації. Порівняно з двигунами внутрішнього згорання, менша кількість рухомих частин електричних транспортних засобів на акумуляторних батареях дозволяє знизити вартість обслуговування [2].

Як широко використовуване енергетичне обладнання повітряні компресори відіграють ключову роль на заводах, фермах, будівельних майданчиках та в інших місцях. Послуги сільськогосподарської техніки є важливим джерелом ефективної механізації сільського господарства через надання політики субсидування закупівлі сільськогосподарської техніки для підвищення рівня механізації сільського господарства. Розумна політика субсидій на придбання сільськогосподарської техніки позитивно впливає на доходи фермерів [3 , 4].

Застосовуючи електрифікацію, повітряні компресори підвищують ефективність, зменшують витрати енергії та відповідатимуть екологічним стандартам, встановленим такими ініціативами, як Цілі сталого розвитку ООН [5].

Мембранні компресори (МК) відіграють ключову роль у різних галузях промисловості, пропонуючи ефективні та стійкі рішення для стиснення та розділення газу. У дипломному проекті розглядається принцип роботи, застосування та переваги мембранних компресорів.

МК, також відомий як газовий компресор , — це механічний пристрій, призначений для підвищення тиску газу шляхом зменшення його об'єму. На відміну від традиційних компресорів, які використовують поршні або обертові механізми, мембранні компресори покладаються на гнучкі мембрани для досягнення стиснення.

Значення МК неможливо переоцінити, оскільки вони знаходять застосування в різних галузях промисловості, включаючи сільськогосподарську, нафтохімічну, харчову, медичну тощо. Ці компресори відіграють важливу роль у таких процесах, як відділення газу, пакування та постачання медичного газу, сприяючи підвищенню ефективності та екологічності. Таким чином, тема дипломного проекту: «Удосконалення технології підвищення працездатності мембранних компресорів, задіяних на підприємствах сільського господарства» актуальна і своєчасна.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Загальні відомості про мембранний компресор (МК)

В основі МК лежить гнучка мембрана або діафрагма, яка розділяє камеру стиснення на дві секції: сторони високого тиску та сторони низького тиску. Коли компресор працює, мембрана згинається вперед і назад, створюючи зміни об'єму, що призводить до стиснення газу.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд МК

МК складаються з кількох ключових компонентів, включаючи мембрану, опорну конструкцію, входні та випускні клапани та механізм приводу. Мембрани зазвичай виготовляються з високоміцних матеріалів, таких як еластомери або полімерні плівки, що забезпечує довговічність і надійність у різних умовах експлуатації.

Процес стиснення в МК включає циклічний рух мембрани. Коли мембрана рухається назовні, об'єм сторони низького тиску збільшується, що призводить

до втягування газу. Коли мембрана рухається всередину, об'єм зменшується, стискаючи газ і збільшуючи його тиск. Цей безперервний рух вперед і назад призводить до бажаного стиснення.

Робота мембранних компресорів така ж, як і поршневих, вони мають одну або кілька камер і клапанів.

Кругла гнучка мембрана виконує роль поршня, який стискається по периметру між кришкою і камерою стиснення і приводиться в коливальний рух колінчастим валом (рис. 1.2).

Привід являє собою одноступінчастий мембранний компресор з горизонтальним розташуванням мембранних блоків. Така конструкція забезпечує врівноваження інерційних сил і зменшення розмірів компресора.

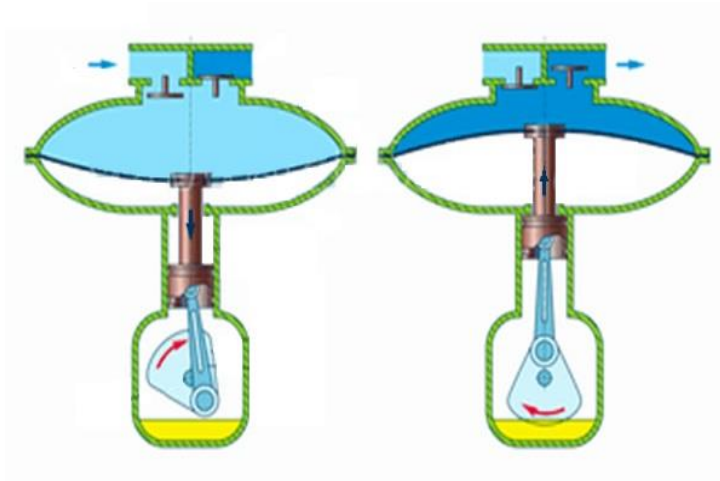


Рисунок 1.2 – Схема роботи камер МК

При збільшенні об'єму камери компресор «всмоктує» повітря. Всмоктувальний клапан відкривається тільки тоді, коли атмосферний тиск створює зусилля, достатнє для подолання пружини клапана.

При досягненні крайнього нижнього положення мембрана починає реверсувати, що призводить до стиснення повітря в циліндрі. Повітря високого тиску відкриває нагнітальний клапан, після чого стиснене повітря надходить у

напірний патрубок. Проміжок часу від відкриття до закриття інжекторного клапана відповідає фазі вприскування.

МК цієї конструкції призначені для стиснення невеликих об'ємів газу до невеликого тиску — кінцевий тиск певною мірою залежить від матеріалу мембрани, зазвичай воно не перевищує 2 бар (~2атм.).

Мембрана повинна витримувати велику кількість циклів навантажень. Найчастіше виготовляється з гуми, прогумованої тканини або силікону. При виробництві компресорів до мембран висуваються жорсткі вимоги щодо щільності та відсутності механічних пошкоджень; багат шарові мембрани виготовлені для збільшення терміну служби та підвищення герметичності.

Основна перевага МК полягає в тому, що вони герметичні, мають дуже малу протікання в порівнянні з іншими типами об'ємних машин.

Їх недолік - швидкий знос мембрани. Крім того, стиснене повітря надходить імпульсами, а не безперервним потоком.

Переваги мембранних компресорів

Енергоефективність

Однією з істотних переваг МК є їх енергоефективність. На відміну від традиційних компресорів, які можуть мати високе енергоспоживання, МК працюють з мінімальними витратами енергії. Ця ефективність означає економію коштів і зменшення впливу на навколишнє середовище.

Екологічні переваги

МК сприяють екологічній стійкості. Вони виробляють менше викидів, що робить їх екологічно чистим вибором для стиснення газу. Крім того, їхня енергоефективна робота зменшує вуглецевий слід, узгоджуючи глобальні зусилля з боротьби зі зміною клімату.

МК широко застосовуються в промислових процесах газорозділення. Вони використовуються для розділення газів на основі їх молекулярного розміру та проникності через мембрану. Ця технологія має вирішальне значення для виробництва газів високої чистоти для промислового застосування, включаючи виробництво азоту та очищення водню.

У харчовій промисловості та виробництві напоїв мембранні компресори відіграють вирішальну роль у пакуванні та зберіганні продуктів. Використовуються для заправки газу в харчову упаковку для продовження терміну зберігання, запобігання псуванню та забезпечення свіжості продукту. Крім того, мембранні компресори використовуються в процесах карбонізації напоїв.

Сектор медицини та охорони здоров'я значною мірою покладається на МК для подачі медичних газів, таких як кисень і закис азоту. Ці компресори забезпечують постійне та надійне джерело газів, необхідних для різноманітних медичних процедур, від анестезії до респіраторної терапії.

МК відомі своїми низькими вимогами до обслуговування та високою надійністю. Завдяки меншій кількості рухомих частин порівняно зі звичайними компресорами вони менше зношуються, що призводить до довшого терміну служби та скорочення часу простою.

Існує кілька типів МК, кожен з яких адаптований до конкретних умов застосування та експлуатаційних вимог. Розуміння цих типів має важливе значення для вибору правильного компресора для конкретного завдання.

МК мембранного типу використовують гнучку діафрагму для відділення камери стиснення. Вони підходять для застосувань, які вимагають високого ступеня стиснення, і можуть працювати з широким діапазоном газових складів.

МК сильфонного типу використовують сильфонну структуру для досягнення стиснення. Вони зазвичай використовуються в програмах, де точність і контроль є критичними, наприклад, у лабораторних умовах.

МК волоконного типу. У волоконних мембранних компресорах використовується мембрана з тонких волокон. Ці компресори ідеально підходять для процесів, які включають корозійні гази або там, де важлива висока чистота, наприклад, виробництво напівпровідників.

Вибір відповідного МК передбачає врахування кількох факторів для відповідності конкретним експлуатаційним потребам і вимогам галузі.

Визначення необхідної потужності та швидкості потоку має вирішальне значення. Різні програми вимагають різних рівнів стиснення, тому вибір компресора, який відповідає цим вимогам, є важливим. Склад газу, що стискається, є критичним фактором. Деякі гази можуть бути корозійними або реактивними, що вимагає вибору матеріалів, які можуть витримувати такі умови.

Кожна галузь має унікальні потреби та правила. Важливо враховувати галузеві вимоги при виборі мембранного компресора, щоб забезпечити відповідність і оптимальну продуктивність.

Оскільки технологія продовжує розвиватися, МК готові до подальших інновацій та зростання. Ось деякі майбутні тенденції, на які варто звернути увагу:

Досягнення в мембранних матеріалах

Дослідження нових мембранних матеріалів призведуть до покращення можливостей газорозділення та підвищення стійкості до суворих умов. Ці матеріали розширять діапазон газів, які можуть працювати мембранні компресори.

Цифровізація та інтелектуальні системи управління

Інтеграція оцифрування та інтелектуальних систем керування покращить моніторинг та оптимізацію роботи мембранних компресорів. Віддалена діагностика та прогнозне технічне обслуговування стануть стандартними функціями, що зменшить час простою та витрати на обслуговування.

Ініціативи сталого розвитку

МК відіграватимуть вирішальну роль в ініціативах сталого розвитку. Їхня енергоефективна робота та знижені викиди відповідають глобальному поштовху до екологічніших технологій. Виробники мембранних компресорів і надалі зосереджуватимуться на екологічно чистих рішеннях.

Висновок

Підсумовуючи, мембранні компресори — це універсальні та ефективні пристрої, які зробили революцію в стисненні та розділенні газу в різних галузях

промисловості. Їх енергоефективність, переваги для навколишнього середовища та надійність роблять їх незамінними в сучасному індустріальному середовищі, що постійно розвивається. Оскільки технологія продовжує розвиватися, ми можемо сподіватися на ще більше інноваційних застосувань і покращену продуктивність МК. Незалежно від того, працюєте ви в нафтохімічній, харчовій, медичній чи будь-якій іншій промисловості, вивчення технології мембранного компресора є кроком до більш стійкого та ефективного майбутнього. Шлях відкриттів у технології мембранних компресорів тільки починається, а можливості безмежні.

1.2. Можливості мембранної технології в сільському господарстві з контрольованим середовищем [25]

Сільське господарство з контрольованим середовищем (вертикальне землеробство та теплиці) має потенціал для підвищення стійкості сільського господарства, що є метою сталого розвитку ООН. Закриті сільськогосподарські споруди можна використовувати в місцях, де неможливо підтримувати польове землеробство, одночасно зменшуючи споживання води та збільшуючи продуктивність порівняно з землеробством у відкритому ґрунті. Основні труднощі при експлуатації виникають через споживання енергії для підтримки належних умов росту. Мембранні процеси можуть зменшити споживання енергії шляхом контролю температури, вологості та концентрації вуглекислого газу. Мембранні процеси також можуть мінімізувати споживання води, дозволяючи використовувати нетрадиційні водні ресурси та зменшуючи утворення стічних вод.

Вступ

Глобальні ланцюжки постачання продовольства переживають стрес, оскільки населення перевищує 8 мільярдів, зміна клімату знижує продуктивність ферм, а сільськогосподарські землі перепрофільовуються або втрачаються [7]. Цей стрес посилюється спробами інтенсифікувати традиційне обробіток полів

шляхом збільшення використання добрив, що, у свою чергу, призводить до збільшення викидів парникових газів [8], більшої евтрофікації прилеглих водойм [9] та втрата здоров'я ґрунту [10].

Сільське господарство з контрольованим середовищем (СЕА) пропонує потенціал для значної інтенсифікації сільськогосподарських операцій з одночасним підвищенням стійкості [11] СЕА охоплює спектр технологій, які дозволяють виробляти продукти харчування в приміщеннях, ізольованих від зовнішнього середовища, включаючи традиційні ґрунтові теплиці, вертикальні ферми, гідропоніку, аеропоніку та аквапоніку [12].

Потенційні переваги виробництва продуктів харчування в закритих приміщеннях полягають у зменшенні споживання води завдяки точному застосуванню та переробці, оптимізації умов росту, збільшенні продуктивності завдяки цілорічному вирощуванню, збільшенні орних площ завдяки вертикальному землеробству, зниженні транспортних витрат завдяки розміщенню ферми ближче до ринків (особливо поблизу харчових продуктів). пустелі), а також зменшити вплив шкідників та інвазивних рослин [13]. Однак ці переваги досягаються за рахунок збільшення капітальних витрат на виробничу інфраструктуру, більшого споживання енергії для контролю навколишнього середовища та освітлення та відсутності екосистемних послуг, таких як запилення [12].

В даний час виробництво продуктів харчування за допомогою систем СЕА є дорожчим, ніж польове виробництво. Аналіз витрат на землю для салату, вирощеного в польових умовах, відправленого з Каліфорнії до Нью-Йорка та Чикаго, показав, що вартість польового салату становить менше половини вартості салату СЕА. Крім того, споживання енергії та викиди парникових газів були вищими [14].

Незважаючи на ці відмінності у вартості, продажі культур, вироблених СЕА, зросли до 600 мільйонів доларів США у 2019 році (з поправкою на долари 2012 року), при цьому виробництво надходить із майже 3000 підприємств [15]. У трійку найбільш продаваних культур увійшли помідори, салат і зелень.

Щоб покращити економіку, споживання енергії в СЕА має бути зменшено [16]. Дослідження енергоспоживання у виробництві зеленого листа показало, що 70% витрачається на освітлення, а 28% – на опалення, вентиляцію, вентиляцію та кондиціонування [17]. Мембранна технологія має потенціал для зменшення внеску HVAC (опалення+вентиляція+кондиціонування повітря). Крім того, мембранна технологія має потенціал для зменшення споживання води, підвищення продуктивності та підвищення стійкості.

Цей огляд підсумовує минулу роботу з використання мембранної технології в СЕА. Це підкреслює, як мембрани можуть покращити стійкість. Нарешті, пропонуються можливості для майбутніх інновацій.

Рисунок 1.3 ілюструє можливості, які існують. Об'єкти СЕА можна уявити як біохімічні реактори, які перетворюють потоки живлення в харчові продукти. ДНК рослин (насіння або саджанців), вуглекислий газ (CO_2), вода та поживні речовини необхідні для виробництва вуглеводнів, що становлять харчовий продукт. Для забезпечення вуглецю, водню та кисню для фотосинтезу та росту рослин потрібні безперервні потоки CO_2 і води. Додаткові витрати включають природне світло для фотосинтезу та енергію для контролю температури, роботи обладнання та додаткового штучного освітлення.

З біореактора виходять три основні потоки: 1) бажаний харчовий продукт та інша біомаса, яка супроводжує його виробництво, наприклад коріння, стебла та листя, 2) потік відпрацьованого повітря від витіснення повітря в об'єкті вхідним потоком повітря та 3) потік стічних вод для видалення забруднень, які накопичуються в системі водопостачання. Потоки відходів є цінними через вміст води та енергії. Мембранні процеси пропонують потенціал для відновлення обох. Мембрани також можна використовувати для контролю вологості та концентрації CO_2 у приміщенні. Крім того, мембрани дозволяють використовувати нетрадиційні джерела води, коли звичайних джерел води немає або недостатньо. Минула робота в цих сферах розглядається тут.

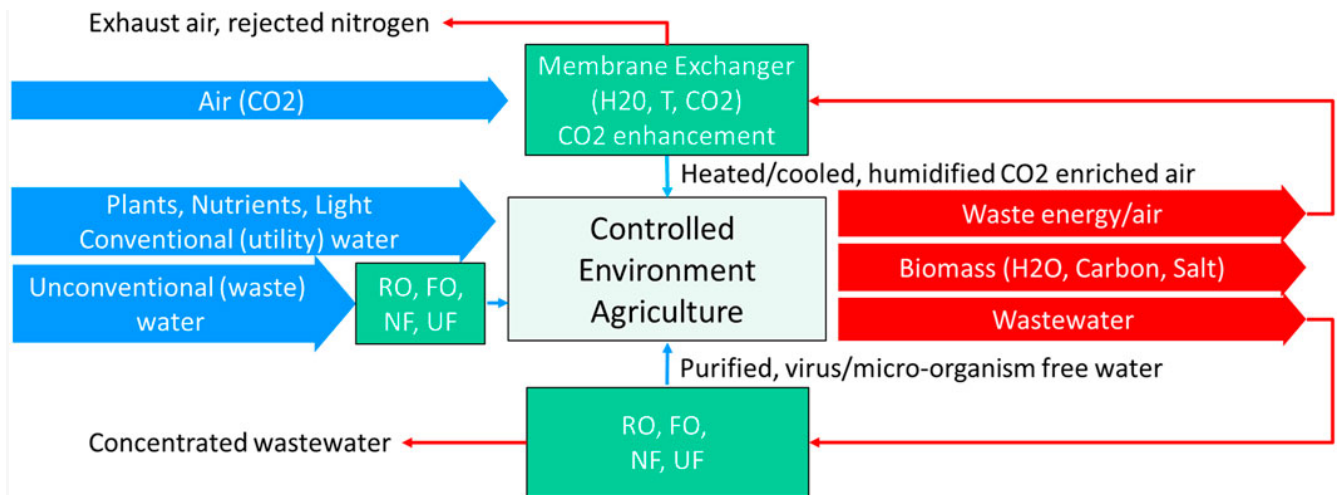


Рисунок 1.3 - Основні можливості застосування мембранної технології для підвищення стійкості діяльності СЕА. Потоки живлення позначені синіми стрілками, потоки продукту – червоними стрілками, а застосування мембран – зеленими прямокутниками [25]

Водне господарство

Глобальний дефіцит води та зростаючий попит на продовольство вимагають інновацій у управлінні водними ресурсами для всієї сільськогосподарської галузі. До 2025 року половина світового населення житиме в регіонах з нестачею води, що підкреслює важливість виявлення нетрадиційних джерел і посилення збереження. Зараз у сільському господарстві використовується ~70% прісної води, що забирається в усьому світі, часто нестабільно. Теплиці з їх контрольованим середовищем пропонують життєздатне рішення для більш ефективного управління водою в сільськогосподарських районах. Впровадження мембранної технології в СЕА має потенціал для зниження потреб сільського господарства у воді порівняно з польовим обробітком.

Керування джерельними водами

Теплиці зазвичай покладаються на муніципальну воду, яка може бути дорогою та дефіцитною в деяких регіонах. Це призвело до використання підземних вод замість них. Однак приблизно 50% глобальних ресурсів підземних вод демонструють рівень солоності ($0,5 \leq S \leq 5$ г/кг), який є занадто високим для

сільськогосподарського використання. Таким чином, існує критична потреба в опрісненні для забезпечення сталого та ефективного вирощування сільськогосподарських культур.

Зворотний осмос (RO – прилад для очищення води)) пропонує рішення для контролю солоності води. RO зі зниженим енергоспоживанням порівняно з традиційними термічними методами опріснення є особливо ефективним для очищення солонуватої води через низький осмотичний тиск. Тут обговорюються зусилля з великої кількості літератури про мембрани для опріснення, які зосереджуються на застосуваннях СЕА.

У той час як RO ефективно видаляє 99% іонів, що призводить до низької концентрації, воно також усуває необхідні поживні речовини для росту культур, які потрібно замінити або додаванням добрив або змішування з солонуватою водою; змішування може мати згубний ефект у вигляді підвищення солоності ґрунту та потреби додаткової води для вимивання солей. Забруднення та утворення накипу, загальні проблеми систем RO, збільшують витрати, але їх можна контролювати за допомогою попередньої обробки. Багато пілотних досліджень показали, що фільтрації є ефективними етапами попередньої обробки для RO, покращуючи запобігання біобростання та якість води, водночас потенційно знижуючи споживання енергії.

Недавні дослідження підкреслюють переваги інтеграції нанофільтрації (NF) як попередньої обробки зворотного осмосу (RO) при опрісненні. В [18] продемонстрували, що NF зменшує кількість двовалентних іонів, знижує витрати на виробництво води на 27% і покращує ефективність RO, незважаючи на вищу складність і початкові витрати. Ці висновки свідчать про те, що попередня обробка NF може подвоїти швидкість відновлення RO, зменшити використання енергії на 40% і скоротити витрати на воду на 20%. Крім того, процес мімбранної фільтрації може призвести до зниження інвестиційних витрат і споживання електроенергії порівняно з двоступеневим процесом RO. Дослідження ультрафільтрації (UF) і прямого осмосу (FO) з RO як альтернативою попередньої обробки свідчать про можливість подальшого

підвищення ефективності. Основна проблема полягає в тому, щоб збалансувати переваги попередньої обробки NF, UF і FO з їхньою додатковою складністю та вартістю для комерційної життєздатності.

Управління стічними водами

Фертигація, додавання добрив, включаючи азот у вигляді нітратів або амонію, до зрошувальної води використовується для посилення росту культур. Однак надлишок добрив, які не використовуються культурами, призводить до утворення багатих поживними речовинами стічних вод. Через суворіші правила ЄС і США щодо утилізації нітратів з'явилися два основні методи очищення стічних вод: біологічна денітрифікація у великих басейнах або штучних водно-болотних угіддях, яка займає багато землі та пропонує обмежений контроль, і повторне використання стічних вод для зрошення після дезінфекції для пом'якшення розвитку хвороб і біоплівки в зрошувальних системах.

Повторне використання стічних вод для зрошення зменшує потребу у джерельній воді, але призводить до таких проблем, як накопичення натрію, що може завдати шкоди посівам. Оператори повинні вибирати між скиданням цієї води або використанням енергоємного зворотного осмосу (RO), який також видаляє корисні мінерали, що вимагає додаткових добрив.

Було продемонстровано, що технологія MSED перевершує RO в обробці стічних вод теплиць для зрошення з селективним видаленням іонів із відновленням понад 90% води, меншою кількістю відходів і довговічними, стійкими до забруднення мембранами, що підвищує рентабельність і ефективність. Додаткові дослідження продемонстрували, що MSED може очищати парникові стічні води шляхом видалення натрію та нітратів. Незважаючи на такий потенціал, технологія MSED ще не була комерційно прийнята для очищення тепличних стічних вод.

Існують додаткові проблеми при розділенні калію та натрію в екологічному тепличному господарстві. Калій (K^+) життєво важливий для здоров'я рослин, покращуючи поглинання води, активність ферментів, фотосинтез, транспорт поживних речовин, ріст і стійкість до стресу. Однак поділ

K^+ і Na^+ є складним за допомогою звичайного MSED через подібність коефіцієнтів рівноваги іонного обміну та фізико-хімічних характеристик досліджують розробку стійких моновалентних селективних мембран K^+/Na^+ за допомогою методу гарячого пресування поліелектролітного комплексу. Отримана мембрана демонструє кращу селективність щодо K^+ порівняно з Na^+ . Крім того, в останні роки досліджують видалення іонів натрію з тепличної води за допомогою електродіалізу з рідинною мембраною на підтримці (SLM) і катіонселективною мембраною (CIMS), досягаючи до 96% відновлення калію та 80% інших іонів. Цей метод показує потенціал для покращення якості води в тепличному господарстві.

Керування повітрям

Системи СЕА пропонують можливість виробляти продукти харчування в географічних місцях, де польове сільське господарство є нежиттєздатним через кліматичні умови, особливо екстремальні умови температури та вологості. Наприклад, СЕА може забезпечити виробництво продуктів харчування в пустельних районах або інших жарких кліматичних умовах і бути інтегрованим із виробництвом енергії за допомогою теплової сонячної енергії або фотоелектричної енергії. Мембранні процеси пропонують альтернативу системам, які розглядаються для контролю температури (наприклад, випарного охолодження та вологості (наприклад, тепловий насос). Крім того, мембрани пропонують потенціал для CO_2 управління.

Управління вологістю

Контроль вологості має вирішальне значення для оптимізації росту рослин і запобігання фізіологічним розладам. Традиційні методи контролю вологості включають конденсацію, використання твердих і рідких осушувачів та електрохімічні методи.

Рідкі осушувачі можуть захоплювати водяну пару або безпосередньо, або через мембранний контактор. Використання мембранних контакторів у системах на основі рідких осушувачів було широко вивчено. Для осушення використовується напівпроникний мембранний бар'єр для полегшення контакту

технологічного повітря з рідким осушувачем. Мембрана дозволяє транспортувати водяну пару через неї, але запобігає потоку осушувача; напрямом і швидкість проникнення води, що визначається різницею хімічних потенціалів водяної пари через мембрану. Мембранний контактор дозволяє використовувати менші системи осушення та може забезпечити більш ефективну роботу.

Продуктивність системи контролюється типом використовуваної мембрани. Рідкі мембрани на основі триетиленгліколю (TEG) використовувалися в ранніх дослідженнях для контролю вологості в приміщенні. Кнайфель [19] розробив мембрану з порожнистих волокон з полієфірїміду та оцінили вплив товщини покриття PDMS на проникнення водяної пари, використовуючи LiCl як абсорбент. Бергеро та ін. в [20] продемонстрували, що гібридна система кондиціонування повітря, яка поєднує стиснення пари з мембранним осушенням на основі LiCl, може зменшити витрати на електроенергію на 50% порівняно зі звичайними системами. Zhang в [21] повідомив про модель контактора з порожнистоволоконною мембраною та її використання для оптимізації процесу осушення.

Тепловий менеджмент

Контроль температури має вирішальне значення для роботи СЕА в зонах з екстремальними температурами навколишнього середовища. Залежно від місця розташування та пори року може знадобитися як охолодження, так і опалення. Потреба в охолодженні в теплом кліматі спонукала до значних зусиль для оцінки технологічних варіантів обслуговування, простоти використання та вартості. Системи на основі мембран, які використовують систему кондиціонування повітря з рідинним осушувачем (LDAC), нещодавно привернули увагу. Pasqualin and Davies запропонували систему LDAC, що використовує багатоступеневу нанофільтрацію (NF) для регенерації осушувача. Їхня система забезпечувала замкнуту рециркуляцію повітря та замкнутий кругообіг води як для охолодження, так і для зрошення, утримуючи температуру нижче 32°C з більшою ефективністю, ніж звичайне охолодження. Майбутні вдосконалення можуть зменшити складність і вартість. Lefers та ін. досліджували систему

охолодження теплиці з використанням осушення рідини та MD на сонячних батареях з PVDF мембранами. Система була розроблена для жаркого вологого клімату та інтегрованого осушення з генерацією прісної води. У дослідженні розглядалися проблеми ефективної регенерації осушувача та управління тепловими витратами за допомогою сонячної енергії. Розробляються пілотні системи для вдосконалення технології.

Контроль CO₂

Концентрація CO₂ є критичною змінною, разом із температурою та вологістю, в оптимізації середовища СЕА для росту рослин. Підвищення рівня CO₂ може підвищити ефективність фотосинтезу, що призведе до покращеного використання енергії та води. У СЕА використовувалися п'ять основних джерел збагачення CO₂: компост, вихлопні гази від викопного палива, вихлопні гази від відновлюваної енергії, природна або примусова вентиляція та чистий зріджений CO₂. Мембранне газорозділення є дуже перспективною технологією для концентрації CO₂ для використання в СЕА, яка забезпечує зниження вартості уловлювання, меншу площу процесу та меншу складність процесу порівняно з іншими процесами.

Wang та ін. [22] запропонували використовувати аніонообмінну мембрану в процесі адсорбції з коливанням вологи для прямого захоплення повітря (DAS) і тепличного землеробства. Мембрана, яку вони оцінювали, мала ємність 0,83 моль CO₂ на кілограм, а адсорбція добре описувалася моделлю ізотерми Ленгмюра. Дослідження десорбції показали, що майже 80% адсорбованого CO₂ може бути відновлено, і було оцінено вплив на споживання тепличної енергії.

Стейсі та ін. досліджували використання збагачення CO₂ для зменшення втрат води в СЕА. Вода втрачається у вологому повітрі, яке витісняється, коли зовнішнє повітря циркулює в установці СЕА, щоб забезпечити CO₂ для росту рослин. За оцінками, втрати вологості становлять 90% від загального споживання води. Моделювання масових і енергетичних потоків показало, що втрати води можуть бути зменшені на 95% за допомогою мембранного процесу

газорозділення під тиском для збагачення CO_2 повітря, що входить. Було оцінено зміни у вимогах до енергії процесу, включаючи стиснення для мембранного процесу та зміни в нагріванні або охолодженні теплиці, що виникають внаслідок використання повітря, збагаченого CO_2 , але вплив на ріст рослин не розглядався.

Шин та ін. [23] зосередилися на перепрофілюванні CO_2 з біогазу (суміш вуглекислого газу та метану) для промислового та сільськогосподарського використання. Вони оцінили комерційний мембранний модуль із порожнистих волокон, виготовлений із полісульфону, покритого полідиметилсилоксаном. При оптимальних робочих умовах 40°C і 7 бар було отримано 95,6% продукту CO_2 з мінімальними втратами CH_4 , що демонструє життєздатність відновлення CO_2 з біогазу.

Hu et al. [24] підготували композитні мембрани, що складаються з полідиметилсилоксану, поліетиленоксиду і поліефірного блок-амідного сополімеру, що підтримується шаром пористого полісульфону на нетканому поліефірному полотні. Мембрани мали найвищу проникність CO_2 і виробляли найбільш концентрований пермеат. Оптимальна концентрація зшиваючого агента, час обробки УФ/озоном (для отримання поверхневого шару, подібного до кремнезему) і остаточний час термічної обробки були визначені для досягнення бажаної проникності та селективності CO_2 . Зростання *Glebionis coronaria* на повітрі, збагаченому CO_2 , призвело до збільшення маси рослини та висоти на 458% та 61% відповідно через 4 тижні. Подібне збільшення спостерігалось для *бок-чой*. Продуктивність мембрани була стабільною протягом 80-денного періоду, демонструючи потенціал процесу для підвищення продуктивності СЕА.

Висновок

Розглянуто застосування мембранної технології для підвищення сталої роботи СЕА. Мембрани пропонують унікальні підходи до контролю потоків води, повітря та вуглекислого газу для зменшення споживання енергії. Основним

застосуванням є управління джерельною водою, управління стічними водами, контроль вологості, керування температурою та збагачення CO₂.

Можливостей для подальших інновацій багато. Очікується, що постійне вдосконалення властивостей мембранного матеріалу та дизайну модуля підвищить ефективність процесу, особливо для використання в рециркуляції води та утилізації непитної живильної води. Удосконалення моновалентних селективних електродіалізних мембран також значно виграє. Крім того, нові матеріали для використання в системах кондиціонування повітря з рідким осушувачем можуть зменшити споживання енергії та одночасно контролювати вологість і температуру в приміщенні СЕА.

Стратегії збагачення CO₂ можуть виграти від інтеграції мембранної технології з технологією адсорбції та абсорбції, що розробляється для точкового джерела та прямого уловлювання вуглецю повітря. Розміщення об'єктів СЕА разом із цими операціями з уловлювання вуглекислого газу, включаючи як електростанції, що працюють на викопному паливі, так і закриті середовища, такі як офісні будівлі, ще більше покращить економіку. Крім того, існують можливості для гібридних процесів, які інтегрують технологію мембранного ентальпійного обмінника з немембранними технологіями, що розробляються для зменшення енергоспоживання систем HVAC.

1.3. Дослідження технології процесу відновлення компресорів

1. Вступ

У наш час побутова техніка є необхідною частиною нашого повсякденного життя. Зростає кількість продуктів, які викидаються або виключаються із закінченням терміну служби продукту та зростанням вимог людей. Компресор, як основний компонент побутової техніки, такої як холодильники та кондиціонери, є продуктом із відносно високою доданою вартістю. Зараз

відпрацьовані компресори в основному демонтуються та переробляються, що не тільки спричиняє величезну втрату ресурсів, але й створює серйозний тягар для навколишнього середовища. Повторне виробництво є більш економічним і екологічним підходом до утилізації відходів, ніж переробка матеріалів [26 , 27].

Повторне виробництво - це процес повернення використаного продукту принаймні до його початкових характеристик або кращих, ніж у нововиробленого продукту [28]. У порівнянні з новими продуктами, відновлені продукти можуть економити енергію та матеріали та зменшувати викиди відходів [29, 30].

Процес відновлення включає перевірку, розбирання, очищення та випробування використаних продуктів, після чого відбувається відновлення несправних частин за допомогою передових технологій і, нарешті, повторна збірка в нові продукти [31]. Концепція переробки спочатку була офіційно запропонована Сполученими Штатами на початку 1980-х років [32]. Після більш ніж 20 років розробки він широко використовується у військовій, автомобільній, будівельній техніці та інших продуктах з високою доданою вартістю [33, 34]. Сполучені Штати мають найбільшу галузь відновлювальної промисловості, загальна вартість якої досягла 75 мільярдів доларів США у 2005 році, при цьому переробка автомобілів і машин становить понад дві третини. Європа, яку представляють Німеччина та Франція, в основному зосереджена на дослідженнях відновлення автомобільної продукції. Він прийняв позитивні закони та правила, пов'язані з відновленням, і створив дослідницький центр технології відновлення в Німеччині [35].

У автомобільних двигунах, трансмісії та будівельних машинах та інших продуктах з високою доданою вартістю процесу відновлення досягли більшого прогресу та сформували певний промисловий масштаб. Однак у випадку продуктів з низькою доданою вартістю, таких як вживана техніка, досвід автомобілів і будівельних машин не може бути повністю запозичений через вищі економічні вимоги до процесу відновлення [35 , 36]. Однак із зростанням популярності холодильників, кондиціонерів та іншої побутової техніки кількість

використаних компресорів з кожним роком збільшується, а традиційні методи переробки більше не застосовуються. Останніми роками, з урахуванням вимог ресурсозбереження та захисту навколишнього середовища, масштаби відновлення компресорів поступово розширюються. Деякі виробники оригінального обладнання створили служби, які пропонують варіанти повторного використання компресора [35, 37]. Конструкція компресора не зазнала особливих змін протягом десятиліть, що свідчить про те, що він особливо підходить для відновлення.

Несправності компресора пов'язані з такими компонентами, як двигуни, підшипники та вали. Ці компоненти піддаються більшому зносу, ніж інші. Тому вони є ключовими компонентами, які потребують відновлення. Це дослідження описує процес відновлення з технічних характеристик компресорів для побутової техніки. Цей процес визначається формою руйнування відходів продукції в поєднанні з міркуваннями екологічності, економічності та виробничої доцільності переробки; це дозволяє стандартизоване серійне відновлення компресорів. Висвітлено ключові технології, такі як очищення статора та відновлення колінчастого валу.

Технічні характеристики компресорів

Компресор — це тип обладнання для підвищення тиску, який перетворює газ низького тиску в газ високого тиску. За принципом роботи її можна розділити на об'ємну і швидкісну. Компресори для побутової техніки в основному об'ємного типу. За структурою об'ємні компресори можна далі розділити на поршневі, роторні, спіральні та гвинтові. Компресор для холодильника в основному поршневого типу, а для кондиціонера - роторного типу.

Принцип роботи поршневого типу полягає у використанні зворотно-поступального руху поршня в отворі циліндра для стиснення газу. Принцип роботи роторного типу полягає у використанні лопаті та ротора для поділу отвору циліндра на всмоктувальну та випускні камери через колінчастий вал для обертання ротора для стиснення газу. Два типи компресорів мають очевидні

відмінності щодо принципу роботи та конструкції продукту. Однак технічні характеристики продуктів мають багато подібностей, як описано нижче:

1. Компресор можна розділити на три частини відповідно до різних функцій: корпус, корпус насоса та двигун. Оболонка є опорним і ущільнювальним механізмом, корпус насоса є механізмом підсилювача, а двигун є рушійним механізмом.

2. Корпус насоса потребує високої точності обробки та посадкового зазору. Точність розмірів частин приводу корпусу насоса зазвичай повинна бути вище ± 4 мкм, а зазор підгонки зазвичай становить приблизно 10-30 мкм.

3. Компресор має суворі вимоги щодо вмісту забруднень і вологи. Високий вміст забруднювачів прискорює знос деталей, що призводить до заклинювання або блокування компресора. Високий вміст вологи призводить до підкислення та деградації холодительної олії, спричиняючи накопичення вуглецю в частинах та підвищений знос або пошкодження шару ізоляції двигуна [38].

4. Форма відмови компресора включає моторні та механічні несправності. Несправність двигуна в основному полягає в пошкодженні ізоляції обмотки статора або розриві ланцюга. Механічна несправність включає знос рухомих частин корпусу насоса або пошкодження ущільнювального пристрою.

5. Компресорні холодоагенти мають багато видів, і вони мають значні відмінності в технічних вимогах, вимогах до якості та виробничих процесах.

6. У промисловості деталі мають низький ступінь спільності. Більше 90% деталей компресорів різних марок не є взаємозамінними. Двигун або колінчастий вал різних моделей компресора однієї марки зазвичай не взаємозамінні.

Матеріали та методи

Конкретна схема процесу відновлення залежить від конструкції компресора.

Огляд

Перевірка — це процес класифікації відновлених компресорів за типом марки, ступенем пошкодження та використаним холодоагентом. Перевірка

визначає вартість відновлення компресора; це полегшує переробку компресорів для досягнення промислового виробництва.

Продукти з низьким рівнем відновлення та високою технічною складністю слід виключити, наприклад, моделі з холодоагентом R12 або продукти з серйозними пошкодженнями. У табл. 1.1 показано вплив зміни холодоагенту на основні конструктивні параметри компресора.

Таблиця 1.1 - Вплив зміни холодоагенту на основні конструктивні параметри компресора

Холодоагент	мастила	Міцність частини	Об'єм вихлопу	Параметр двигуна	Міцність клапана	Дозвіл на спаровування	Безпека
R12	Мінеральне масло	–	–	–	–	–	немає
R134a	Полефірне масло	Новий дизайн	Без змін	Новий дизайн	Новий дизайн	Новий дизайн	немає
R600a	Мінеральне масло	Без змін	Без змін	Новий дизайн	Новий дизайн	Новий дизайн	так

Розбирання

Розбирання — це процес розкладання виробу на конструктивно закінчені або функціонально незалежні частини. Відновлювальний демонтаж виконується за певними технічними правилами та вимогами. Відповідно до вартості частин і методу з'єднання слід використовувати відповідні методи та обладнання, щоб максимально зберегти основні частини чи основні компоненти від пошкодження [39].

Будова компресора холодильника показана на рис. 1.4. Оболонка складається з верхньої та нижньої частин. Зазвичай вони виготовляються з м'якої сталі товщиною 2,5–4,0 мм, а рухомий механізм ущільнюється всередині корпусу за допомогою зварювання. Вузол руху складається з двигуна та корпусу насоса, де ротор двигуна та колінчастий вал корпусу насоса зібрані за допомогою посадки з натягом, а інші частини зібрані за допомогою болтового з'єднання або

зазору. Тому для розбирання компресора важливі демонтаж кришки і демонтаж ротора.



Рисунок 1.4 - Конструкція продуктів холодильного компресора: (a) верхня оболонка, (b) зварний шов, (c) нижня оболонка, (d) підставка, (e) картер, (f) гакова пружина, (g) статор двигуна та (h) колінчастий вал

Для розбирання кришки компресора зазвичай використовуються методи токарної обробки, ручного пиляння, різання полум'ям, плазмового різання, кріогенного дроблення та фрезерування профілю [40]. Метод профільного фрезерування передбачає просту конструкцію, високу ефективність розбирання та незначне пошкодження деталей. Це найбільш підходящий метод для демонтажу кришки компресора. Його базова структура показана на рис. 1.5.

Метод кріогенного дроблення є повністю деструктивним методом демонтажу і непридатний для повторного демонтажу. Ручний спосіб розпилювання вкрай неефективний для демонтажу і підходить лише для дуже невеликих обсягів демонтажу. Різання полум'ям і плазмове різання дають низьку

якість секцій, що може пошкодити внутрішні частини компресора. Токарний верстат можна використовувати тільки для круглої компресорної обробки.



Рисунок 1.5 - Профіль компресора обладнання для розбирання відкритої оболонки: (a) тримачі інструментів, (b) компресор, (c) затискач, (d) поворотний верстак, (e) пружина та штовхач, і (f) напрямна рейка.

Загальні методи розбирання ротора включають метод нагрівання або демонтажу під тиском. Метод демонтажу під тиском використовується для зняття колінчастого вала з ротора за допомогою тиску та штовхача. Це передбачає високу ефективність, невелике пошкодження деталей і хорошу можливість повторного використання деталей. Однак до конструкції світильника висуваються суворі вимоги. Метод нагрівання використовує високочастотне нагрівання для розширення отвору ротора для відділення. Його споживання енергії є високим, і він схильний до витоків алюмінію та деформації кремнієвої

сталі або явища збільшення втрат у вихрі, що не сприяє використанню відновлення ротора.

Під час розбирання компресора видаляються деталі низької вартості або явно пошкоджені та не підлягають відновленню чи обробці, наприклад клапани, прокладки, зламані оболонки та сильно зношені поршні. Крім того, слід зібрати відпрацьоване масло та залишки холодоагенту. Після завершення розбирання розібрані частини слід класифікувати та зберігати, а також пройти обробку від корозії та подряпин.

Очищення

Очищення — це процес видалення забруднень, що прилипли до поверхні та всередині деталей. Поширеними видами забруднень є масло, іржа, нагар і фарба. Відповідний метод очищення слід вибрати відповідно до структури частин, матеріалів, типів забруднюючих речовин і вимог до чистоти, а також повинні бути комплексно розглянуті економічні аспекти, аспекти захисту навколишнього середовища та безпеки [41]. Поширеними методами очищення є в основному піскоструминна, дробеструйна, хімічна, ультразвукова, осциляційна та розпилювальна.

Відповідно до типу забруднювачів і вимог до чистоти деталей, очищення деталей можна класифікувати таким чином:

1. Збірка оболонки. Забруднювачами корпусу є плями масла, фарби та іржі. Вимоги до чистоти відносно низькі. Плями іржі та фарбу корпусу можна видалити за допомогою дробеструйної обробки. Потім масло та пил видаляються розпиленням гарячої води. Для зручності роботи дробеструйну обробку можна завершити до розбирання відкритої оболонки. Ефект дробеструйної обробки показано на рис. 1.6.
2. Дрібні частини корпусу насоса, включаючи поршень, колінчастий вал і болти. Деталі з простою структурою та високими вимогами до чистоти можна мити за допомогою ультразвукового очищення та висушувати після очищення.

3. Великі деталі та двигун корпусу насоса. Ці частини мають складну конструкцію та найвищі вимоги до чистоти. Можна використовувати комбінацію грубого очищення розпиленням + тонкого ультразвукового очищення. Миючий засіб - це R141В або вуглеводневий миючий засіб з високою очисною здатністю та летючістю.



Рисунок 1.6 - Дробеструйна обробка поверхні компресора: (а) дробеструйна машина, (б) підвіс, (с) до струминної обробки та (д) після струминної обробки

Виявлення

Виявлення надає стандарти для оцінки повторного використання частин. Відповідно до різних функцій частин компресора, його вміст і вимоги до виявлення відрізняються. Основними елементами виявлення електричних частин, таких як двигуни, є цілісність компонентів та електрична безпека. Основні елементи виявлення для колінчастого валу, картера та інших деталей обробки включають вимоги до еталонного розміру, допуску форми та якості поверхні. Елементами виявлення для оболонки та інших звичайних структурних частин є контрольні розміри та якість зовнішнього вигляду частин.

Відповідно до результатів виявлення та економії відновлення, виявлені деталі поділяються на три категорії: деталі, які можуть бути безпосередньо використані для повторного складання, несправні деталі, які можуть бути відновлені та відремонтовані, та усунені деталі, які потребують заміни нового продукту [42]. Частка повторного виробництва, що визначає класифікацію відпрацьованих частин компресора холодильника, статистично показано в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Коефіцієнт класифікації випробувань на відновлення відпрацьованих деталей компресора холодильника

Назва частини	Пряме складання деталей	повторне	Відремонтовані запчастини	Потрібні запчастини	нові
Статор двигуна	50~70%		Решта	Менше 10%	
Колінчастий вал і картер	30~50%		Решта	менше 5%	
Залишилися тонкі частини	30~50%		-	Решта	
Ущільнення, наприклад тарілки клапанів	-		-	100%	
Інші конструктивні частини	95%		-	Решта	

Відновлення деталей, що вийшли з ладу

Відновлення — це процес ремонту або модернізації та модернізації несправних частин. Методи технології відновлення в основному включають інженерію поверхні, механічну обробку та методи заміни деталей [43, 44]. Різні методи мають різні характеристики та застосовність. Визначаючи метод відновлення деталей, ми в основному враховуємо техніко-економічний захист і захист навколишнього середовища та забезпечуємо придатність, довговічність і технічну економічність відновлених деталей.

Статор двигуна, колінчастий вал і картер є трьома найціннішими частинами компресора холодильника, і їх загальна вартість становить приблизно 65% вартості компресорної машини та 90% звичайних пошкоджених деталей компресора. Ми можемо відновити лише три компоненти.

Тип несправності двигуна включає переважно пошкоджені котушки або відсталу роботу. При реконструкції може використовуватися метод заміни, який проводиться шляхом зняття котушки статора і заміни її на котушку згідно з початковими параметрами або після модернізації. Форма поломки колінчастого вала та картера головним чином пошкоджена тертям. Відновлення може використовувати комбінацію механічної обробки та методів інженерії поверхні для відновлення розміру, допуску форми, шорсткості поверхні та антифрикційних характеристик деталей.

Повторне складання

Процес повторного складання всієї машини включає процеси встановлення й узгодження частин корпусу насоса, складання руху, зварювання корпусу, покриття поверхні та визначення продуктивності. Забезпечення належної чистоти деталей, зазору в корпусі насоса, повітряного зазору двигуна та герметичності зварювального корпусу є ключем до забезпечення якості продукту під час повторного складання. Нове масло-холодильник слід впорскувати відповідно до типу продукту компресора з відповідними специфікаціями та дозуванням під час виявлення. Вибір правильного холодильного масла має вирішальне значення для нормальної роботи компресора [45].

Ключові технології відновлення компресорів

Ключем до відновлення компресора є очищення та відновлення деталей. Очищення забезпечує чистоту компресора. Переробка є передумовою оптимізації розриву відповідності. Серед компонентів компресора холодильника структура статора двигуна є найскладнішою, і її найважче відновити та очистити; тим часом технічні вимоги колінчастого вала є найбільш повними [46] і найбільш репрезентативними.

Технологія очищення статора двигуна

Статор двигуна характеризується складною конструкцією, багатьма типами матеріалів і високими вимогами до чистоти і вологості. Після розбирання компресора в статорі залишається багато забруднень. Більшу частину забруднень потрібно видалити шляхом розпилення або промивання. Потім проводиться тонке очищення ультразвуковими методами. Після цього слід виконати процес сушіння, щоб забезпечити необхідну вологість деталей. На рис. 1.7 показаний експериментальний процес очищення статора.

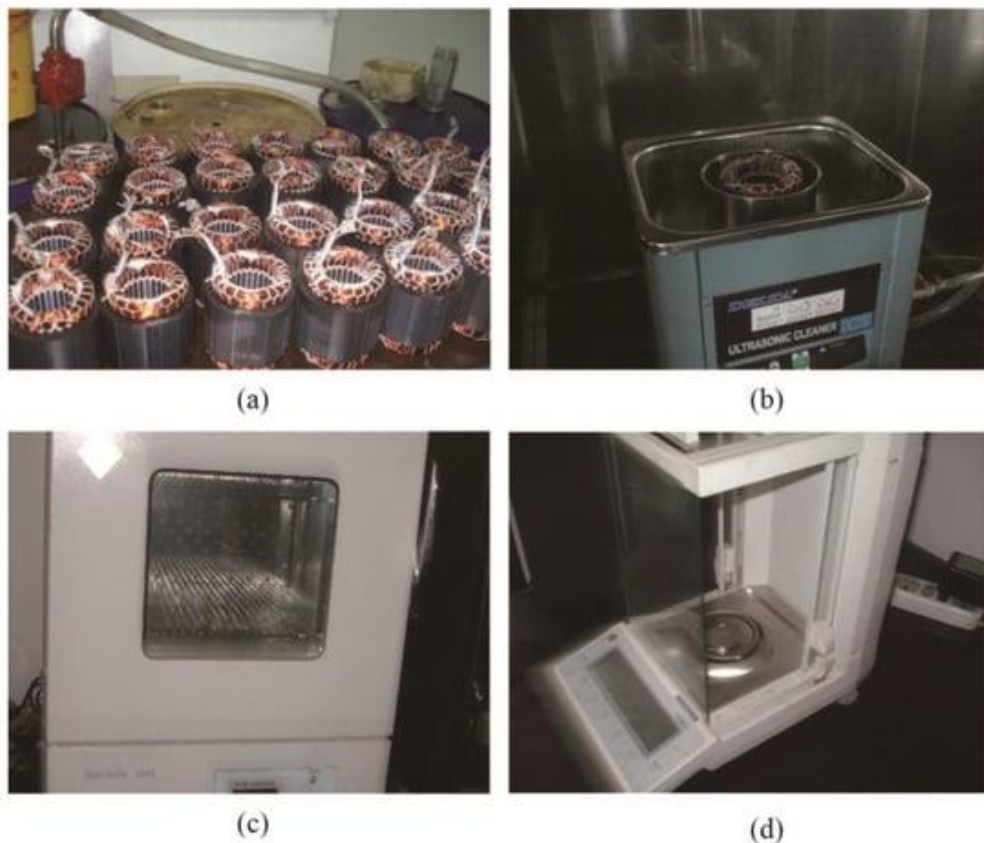


Рисунок 1.7 - Експериментальний процес очищення статора: (а) неочищений статор двигуна, (б) ультразвукове очищення, (в) обробка висушуванням і (г) вимірювання маси забруднення

Миючий засіб має вирішальне значення під час очищення статора, враховуючи вимоги до чистоти, сумісності матеріалів, захисту навколишнього середовища, безпеки та економії. Зазвичай використовувані миючі засоби можна розділити на три категорії: чистячі засоби на водній основі, органічні розчинники

та вуглеводневі миючі засоби. Чистячі засоби на водній основі мають слабкий очисний ефект і ускладнюють утилізацію відходів і висушування деталей. Однак процес простий і вимагає невеликих вимог до обладнання. Органічний розчинник має кращий ефект очищення, а обробка відпрацьованої рідини переробляється шляхом нагрівання, випаровування та повторного використання конденсації. Проте екологічний захист органічного розчинника є поганим. Вуглеводневий миючий засіб має найкращий ефект очищення та захист навколишнього середовища. Однак він легкозаймистий і містить вибухові речовини. Таким чином, це вимагає ретельного проектування безпеки обладнання та великих інвестицій.

У табл. 1.3 наведено результати перевірки чистоти деталей після використання різних засобів для чищення.

Таблиця 1.3 - Порівняння загальних властивостей миючого засобу статора двигуна

Метод очищення	Чистячий засіб	Органічні забруднення (г)	Неорганічні забруднення (г)
Спрей + ультразвукова чистка	Миючі засоби на водній основі (чиста вода)	0,0042	0,0407
		0,0036	0,0418
		0,0048	0,0392
		0,0038	0,0377
Занурення + ультразвукова чистка	Органічні розчинники (технічний спирт)	0,0014	0,0297
		0,0024	0,0284
		0,0016	0,0278
Занурення + ультразвукова чистка	Вуглеводневий миючий засіб (R141B)	0,0017	0,0257
		0,0007	0,0066
		0,0003	0,0081
		0,0013	0,0076
		0,0008	0,0089

Дані експериментальних випробувань показують, що метод очищення статора R141B мав найкращу чистоту, а потім промисловий спирт; найгіршим методом було використання чистої води. Для обробки після очищення, оскільки R141B має дуже високу летючість, статор можна помістити в сухе приміщення після очищення без спеціального сушіння, тоді як при методах промислового спирту та чистої води статор потрібно висушити. Крім того, результати випробувань показали, що неорганічні домішки містять невелику кількість ошурків металевого заліза. Ця проблема в основному пов'язана з великою кількістю залізних ошурків, які потрапляють в обмотку двигуна, коли компресор відкривається та розбирається. Під час розбирання компресора видалення лише спаяної частини може уникнути потрапляння забруднень у котушку, викликане прямим фрезеруванням.

Технологія відновлення колінчастого валу

Формою несправності колінчастого валу компресора є в основному пошкодження тертям, а частинами, що зношуються, є довгий вал, короткий вал, ексцентриковий кривошип і опорна поверхня, як показано на рис. 1.8.

Зношення довгого валу та ексцентрикового кривошипа зазвичай більш серйозне, тоді як знос короткого валу та опорної поверхні менший. Відновлення колінчастого валу в основному відновлює допуск форми, шорсткість поверхні та контрольний розмір із вимогами до підгонки деталей, що зношуються. Довгий вал і ексцентриковий кривошип мають відповідні вимоги до розміру картера і шатуна відповідно. Однак вартість шатуна низька, а економія відновлення погана. Цей зазор можна усунути, замінивши його новим шатуном. Таким чином, основний аспект відновлення розміру зносу може бути лише для довгого діаметра колінчастого валу для відновлення.

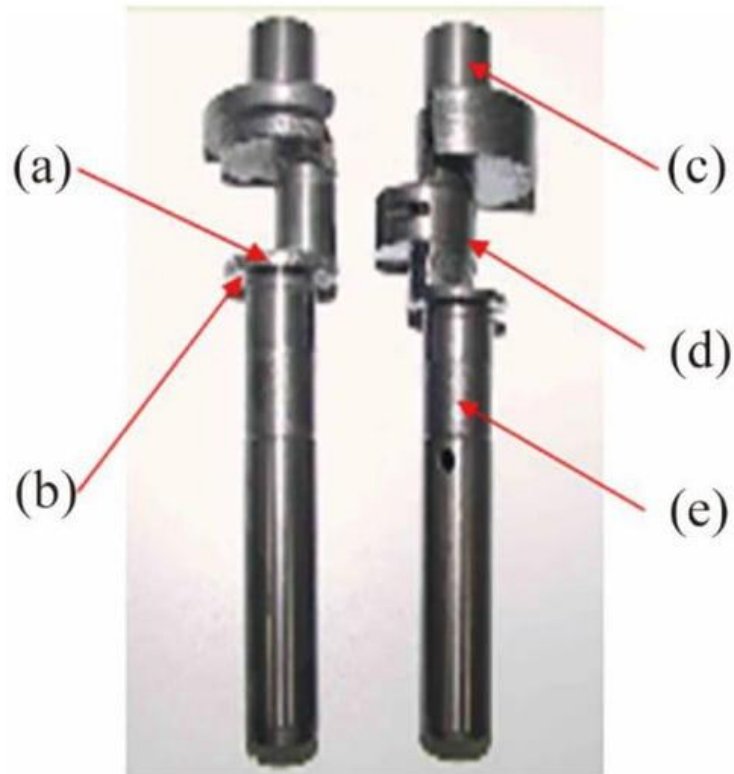


Рисунок 1.8 - Діаграма зносу колінчастого валу: (a) знос верхньої упорної поверхні, (b) знос нижньої упорної поверхні, (c) знос короткої шийки валу, (d) знос ексцентричного кривошипа, (e) і знос довгої шийки валу.

Поверхня довгого валу компресора зазвичай має шар плівки фосфату марганцю товщиною 1,5–2,5 мкм. Нормальна глибина зносу довгого валу зазвичай не перевищує 10 мкм. Враховуючи вимоги до якості продукту, експерименти порівнювали два способи ремонту довгого валу: щіткою + вторинне фосфатування та тонке шліфування + вторинне фосфатування.

Таблиця 1.4 показує діаметр (D) і циліндричність (C) довгого стрижня до і після реставрації.

Коли товщина фосфату перевищує 5 мкм, ефективність фосфату знижується, а щільність фосфатного шару зменшується. Ця умова не сприяє антифрикційним характеристикам продукту. Тому максимальний ремонт контрольних розмірів колінчастого валу за допомогою вторинного фосфатування переважно не повинен перевищувати 4,0 мкм з одного боку. Експерименти показали, що

рішення для відновлення шіткою + вторинне фосфатування не покращує суттєво допуск форми колінчастого валу. Це не може повністю змінити вплив неправильної форми колінчастого валу на характеристики шуму та вібрації компресора.

Таблиця 1.4 - Порівняння методів ремонту довгих валів

Індекс	Відходи колінчастого валу		Колінчастий вал після чистки		Колінчастий вал після тонкого шліфування		Вторинне фосфатування		Полірування поверхні	
	D (мм)	C (мкм)	D (мм)	C (мкм)	D (мм)	C (мкм)	D (мм)	C (мкм)	D (мм)	C (мкм)
1	18,001	3.17	17,998	3.32			18,007		18,004	3.01
2	18 000	4.82	17,996	4.05			08.004		18,001	3.62
3	17,997	1.57	17,992	1.46			18,001		17,999	1.42
4	17,994	5.66	17,991	5.42		без	17,999		17,996	4.87
5	17,998	1.64	17,994	1.52			18,003		18 000	1.55
6	18,001	7.14	17,996	5.94			18,004		18,002	5.12
7	18 000	4.96			17,902	1.73	18,002	без	17,999	1,65
8	17,998	5,89			17,901	1.82	18 000		17,998	1.72
9	17,996	6.51			17,990	2.04	18 000		17,998	1.68
10	17,995	4.41		без	17,990	1.46	17,998		17,995	1.52
11	18 000	4.78			17,992	0,93	18,001		17,998	0,84
12	17,999	3.54			17,992	1.11	18 000		17,997	0,96

За допомогою рішення для відновлення тонкого шліфування + вторинного фосфатування можна значно покращити допуск форми колінчастого валу. Тому рішенням для відновлення колінчастого валу компресора має бути тонке

шліфування + фосфатування + полірування поверхні. Процес відновлення колінчастого валу показано на рис. 1.9. Під час відновлення слід звернути увагу на наступні аспекти.

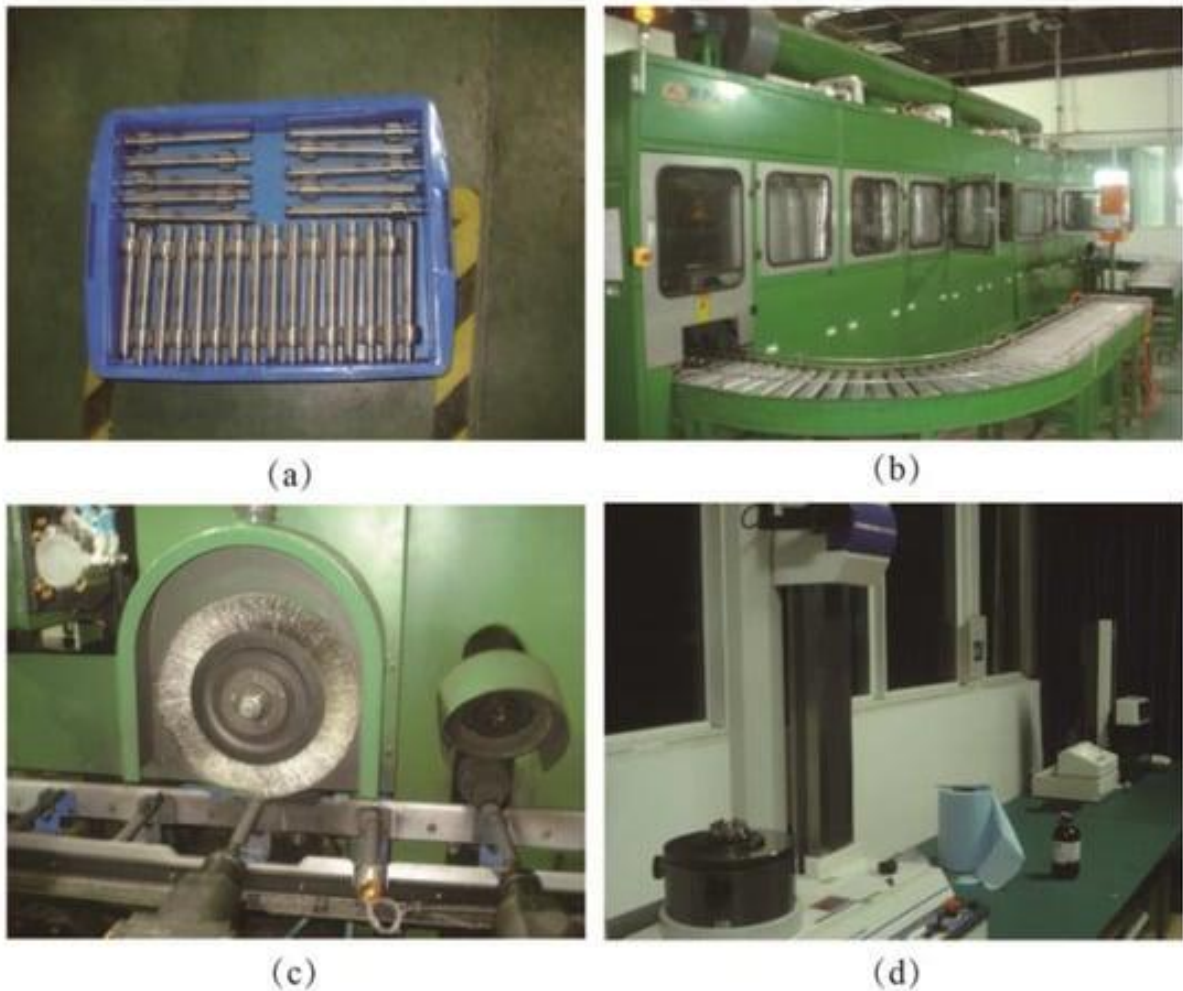


Рисунок 1.9 - Процес відновлення колінчастого валу: (а) колінчасті вали, (б) обробка фосфатуванням, (в) тонке шліфування та (г) вимірювання допуску колінчастого валу

1. Тонне шліфування колінчастого валу в основному фіксує точність розміру та допуск форми деталей колінчастого валу, що зношуються, а саме довгого валу та ексцентрикового кривошипа. Тонкий помел довгого валу обробляється безсерцевою шліфувальною машиною, а об'єм помелу повинен контролюватися нижче 15 мкм. Тонке шліфування ексцентрикового кривошипа

обробляється ексцентриковою шліфувальною машиною, а об'єм шліфування повинен враховувати вимоги до ексцентрикового розміру колінчастого валу, який можна контролювати на рівні приблизно 30–50 мкм. Якість тонкого шліфування колінчастого валу забезпечується не тільки точністю обробки верстата, але й конструкцією позиціонуючого інструменту, розміром шліфувального круга, швидкістю шліфувального круга та вибором обраної шліфувальної рідини. .

2. Фосфатування служить для підвищення антифрикційних властивостей колінчастого валу і фіксації розміру діаметра валу. При фосфатуванні використовується марганцевий фосфатуючий агент, а товщина плівки контролюється на рівні 4–5 мкм. Кислотність, температура та час фосфатування розчину фосфатування під час фосфатування мають очевидний вплив на товщину та якість фосфатуючої плівки [47]. Загальна кислотність розчину фосфатування повинна включати контроль на рівні 35-45 балів, вільну кислотність на рівні 4-6 балів, температуру фосфатування 85-90 °С і час фосфатування приблизно 8-10 хв під час відновлення колінчастого валу. Отримана фосфатна плівка має однорідний і деталізований вигляд, вона має безперервний шар плівки і товщину приблизно 4–5 мкм.

3. Поверхнєве полірування видаляє забруднення та більші частки фосфату з поверхні колінчастого валу та покращує шорсткість поверхні колінчастого валу. Полірування колінчастого валу можна проводити полірувальним верстатом сталевого щіткового типу. Полірування може змінити лише якість поверхні деталей, а не допуск форми деталей.

Після переробки відпрацьованого колінчастого валу за технологічною схемою значно покращено його допуск форми та шорсткість. Однак діаметр довгого валу став дещо меншим, і його слід узгодити з розподілом частин, щоб досягти вимог щодо зазору підгонки. Порівняння ключових даних до і після відновлення колінчастого валу показано в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Порівняння основних даних до і після відновлення колінчастого валу

Номер деталі	Діаметр довгого валу/мм		Циліндричність довгого валу/мкм		Шорсткість довгого валу/Ra	
	Раніше	Після	Раніше	Після	Раніше	Після
1	18 000	17,992	6.96	1.79	2.41	0,18
2	17,998	17,992	7,89	2.02	4.25	0,20
3	17,996	17,991	8.51	2.52	4.80	0,20
4	17,995	17,991	6.41	1.71	3.67	0,19
5	17,999	17,992	6.54	1.37	2.52	0,20

Таким чином, в представлений вище роботі [48] відтворено повний процес відновлення відпрацьованих компресорів і детально описано технологію очищення та процес відновлення колінчастого валу під час відновлення компресорів. Відновлення подовжує термін служби компресора та зменшує витрати на виготовлення продукту та забруднення навколишнього середовища. Він кардинально відрізняється від традиційного ремонту компресорів, і є найбільш економічним і екологічно чистим способом переробки відпрацьованих компресорів. Відновлені компресори мають продуктивність і якість не нижчі, ніж у прототипу, а процес відновлення задовольняє стандартизоване масове виробництво.

Деякі відпрацьовані компресори технічно складно та економічно неефективно переробляти через погану екологічність холодоагенту (R12) або низький рейтинг енергоефективності охолодження. Щоб максимізувати економічні, соціальні та екологічні вигоди, для цих продуктів необхідно вивчити кращі процеси відновлення та технології обробки.

Недоліком такого способу відновлення колінчастих авалів поршневіх компресорів є те, що вони не збільшують діаметр зношених ділянок.

1.4. Висновки:

1. Аналіз літературних і патентних досліджень дозволив отримати загальні відомості про мембранні компресори (МК).
2. Розглянуті можливості застосування мембранних технологій в сільському господарстві з контрольованим середовищем.
3. Проведений аналіз існуючих технологій відновлення колінчастих валів поршневих компресорів, в склад яких входять і МК.

1.5. Мета та задачі проведення дослідження

Метою дипломною роботи є підвищення надійності мембранних компресорів, за рахунок удосконалення технології відновлення їх колінчастих валів, шляхом використання комбінованої технології електроіскрового легування з наступним іонним азотуванням.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд **задач**:

- розробити методику проведення досліджень;
- проаналізувати сучасні існуючі технології відновлення і зміцнення деталей машин;
- провести дослідження впливу запропонованих технологій на параметри якості поверхонь нанесених покриттів;
- провести порівняльні іспити на зносостійкість покриттів нанесених по новій технології.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ПОРШНЕВИХ КОМПРЕСОРІВ

2.1. Методика проведення експериментальних робіт, згідно удосконалення технології ремонту поршневих компресорів (ПК)

Аналіз літературних джерел показав, що для зміцнення і відновлення деталей ПК: штоків, колінчатих валів, циліндрів тощо) може бути комбінована технологія, яка полягає в іонному азотуванні (ІА) і електроіскровому легуванні (ЕІЛ), яке виконується першим чи останнім.

2.1.1 Методика проведення ЕІЛ

Найбільш широко для зміцнення і відновлення деталей машин, де потребується висока якість поверхневого шару, використовують установки для чистового легування установки моделей «ЕІЛ–8А» і «Елітрон–22А» (рис. 2.1). Ці установки виготовляють в переносних конструкціях, вони компактні і використовуються з ручним. Невеликі габарити дозволяють легко їх легко транспортувати до місця проведення робіт в виробничих майстернях.



а



б

Рисунок 2.2 – Фотографії установок для чистового легування моделей «ЕІЛ–8А» (а) і «Елітрон–22А» (б)

Для автоматизації процесу легування ці установки розташовують поблизу токарного верстату, закріплюють вібратор в різцеутримувачі і проводять процес ЕІЛ в автоматизованому режимі (рис. 2.2).

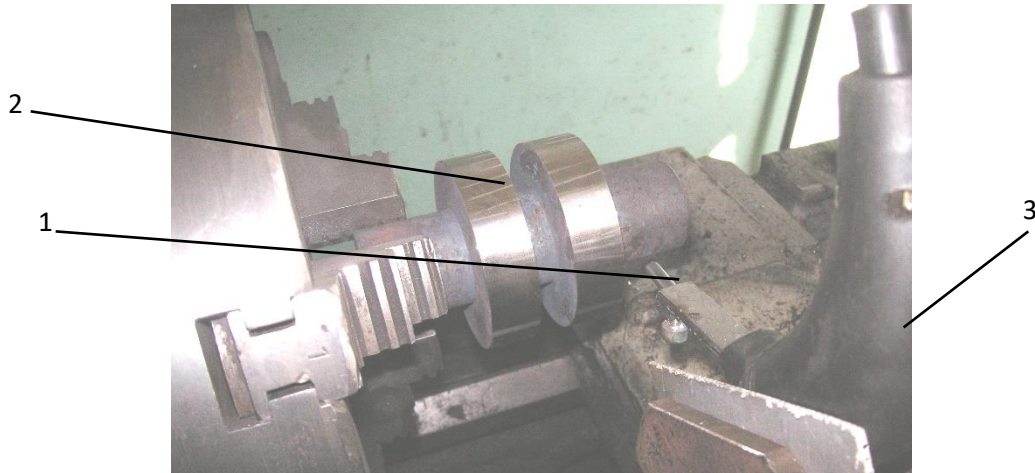


Рисунок 2.2 – Фото проведення ЕІЛ в автоматизованому режимі:

1 – металевий електрод; 2 – деталь; 3 – ручний вібратор

Дослідження проводили на зразках зі сталі 40Х з якої дуже часто виготовляють колінчасті вали для ПК. Електродами-інструментами були стержні з твердого сплаву ВК8 і з мідної проволоки \varnothing 3 мм.

В процесі проведення дослідів на зразках вивчали структуру, сформованого поверхневого шару при ЕІЛ і при нанесенні комбінованих покриттів (КП): ЕІЛ+ІА і ІА+ ЕІЛ.

Металографічні дослідження і вимір мікротвердості проводили по стандартним методикам і на відомому обладнанні.

2.1.2 Методика проведення ІА

ІА зразків зі сталі 40Х проводили в установці моделі «НГВ-6,6/6-І1» (рис. 2.3), характеристика якої представлена в табл. 2.1.

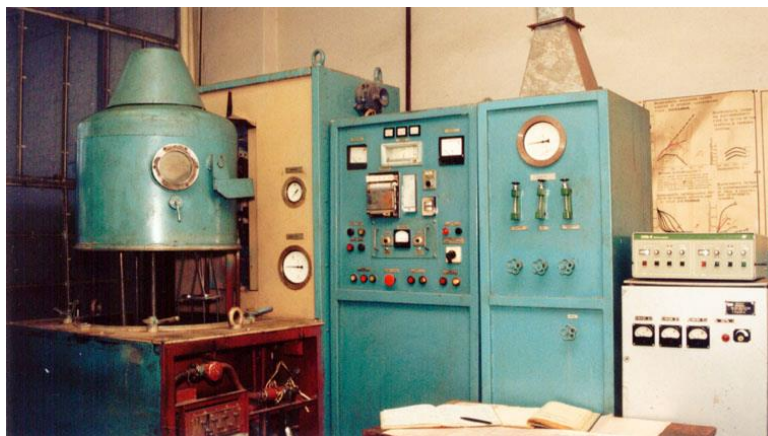


Рисунок 2.3 – Фото установки для іонного азотування моделі «НГВ - 6,6/6-II1»

Таблиця 2.1 – Основні технічні параметри установки «НГВ-6,6/6-II1»

Найменування технічної характеристики, одиниці виміру	Показник
Маса загрузки (max), кг	До 50,0
Розміри камери, мм Ø x Н	600,0 x 600,0
Температура азотування, °С	550-600
Оточуюче середовище деталі	Азот + водень
Діапазон напруження, В	300,0 – 900,0
Струм, А	2,0 – 35,0
Довжина процесу азотування, ч	8,0 – 24,0
Витрата води, м ³ /год	5,0

Для захисту місць, які не азотуються використовують технологічну оснастку у вигляді: циліндрів, захисних екранів, струбцин, пробок тощо.

Слід відмітити, що при ІА викривлення деталі незначне, як правило в діапазоні допуску креслення і складає ~ 10 мкм на сторону, що легко виправляється наступним шліфуванням.

2.2. Результати дослідження параметрів якості після ЕІЛ і ІА

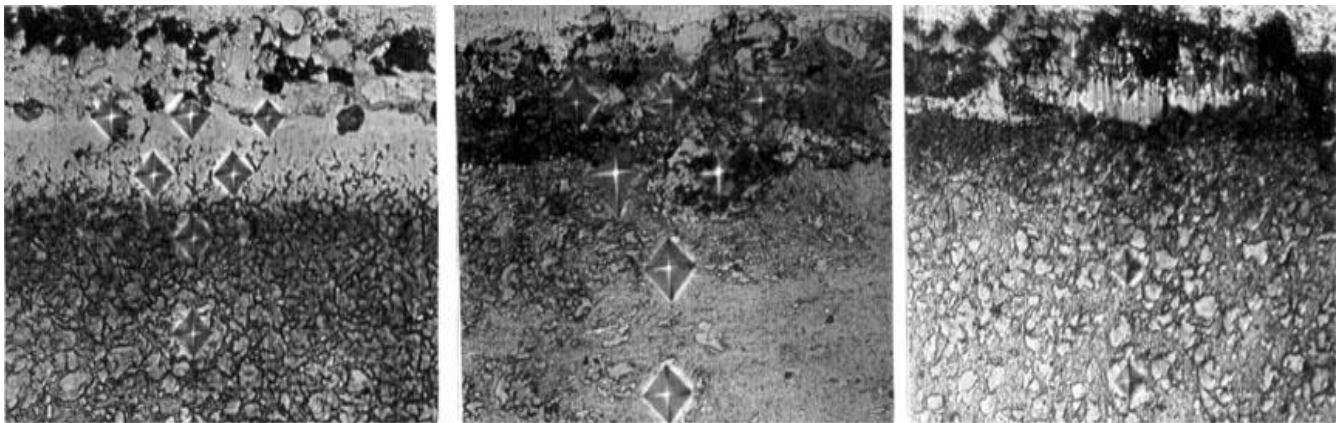
В практиці ЕІЛ відомі покриття, що складаються з твердих зносостійких і м'яких антифрикційних матеріалів, наприклад, карбід вольфраму + мідь, але вони мають малу товщину до 25 мкм і сутність < 100%.

Для збільшення товщини зміцненого шару і підвищення суцільності покриття проводились дослідження сумісні з ІА.

Для дослідів виготовляли шість серій зразків сталі 40Х з різними покриттями ЕІЛ ВК8 + ІА; ЕІЛ_{Сu} + ЕІЛВК8 + ІА; ЕІЛВК8 + ЕІЛ_{Сu} + ЕІЛВК8 + ІА; ІА + ЕІЛВК8; ІА + ЕІЛ_{Сu} + ЕІЛВК8; ІА + ЕІЛВК8 + ЕІЛ_{Сu} + ЕІЛВК8.

ІА – проводили на установці НГВ - 6,6/6 - И1 при 550 °С в плин 12 год.

На рисунках 2.4 і 2.5 представлені результати металографічних і дюрOMETричних досліджень зразків: ЕІЛВК8; ЕІЛ_{Сu} + ЕІЛВК8; ЕІЛВК8 + ЕІЛ_{Сu} + ЕІЛВК8 при наступному ІА.



а)

б)

в)

Рисунок 2.4 - Мікроструктура зразків сталі 40Х після: а - ЕІЛВК8 + ІА; б - _{Сu} + ЕІЛВК8 + ІА; в - ЕІЛВК8 + ЕІЛ_{Сu} + ЕІЛВК8 + ІА

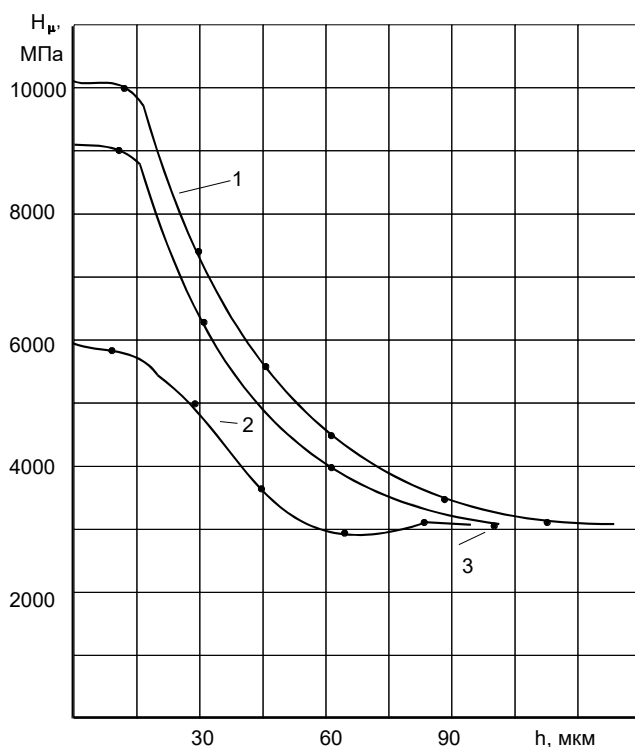
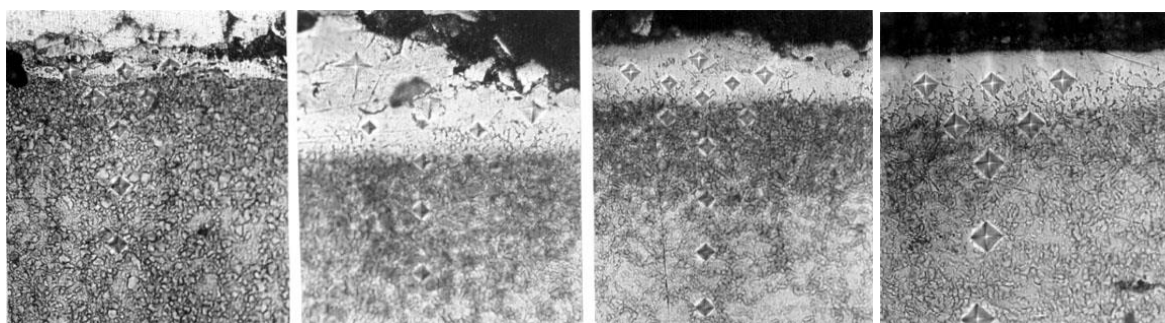


Рисунок 2.5 - Розподіл мікротвердості по глибині шару сталі 40X після ЕЕЛ і ІА: 1 - ЕЕЛ ВК8 + ІА; 2 - Cu + ВК8 + ІА; 3 - ВК8 + Cu + ВК8 + ІА

На рисунках 2.6 і 2.7 представлені результати металографічних і дюрOMETричних досліджень зразків: ІА + ЕІЛВК8; ІА + ЕІЛCu + ЕІЛВК8; ІА + ЕІЛВК8 + ЕІЛCu + ЕІЛВК8.



а)

б)

в)

г)

Рисунок 2.6 - Структура поверхневого шару зразків зі сталі 40X після ІА і ЕІЛ: а - ІА + ЕІЛВК8; б, в - ІА + ЕІЛCu + ЕІЛВК8; г - ІА + ЕІЛВК8 + ЕІЛCu + ЕІЛВК8

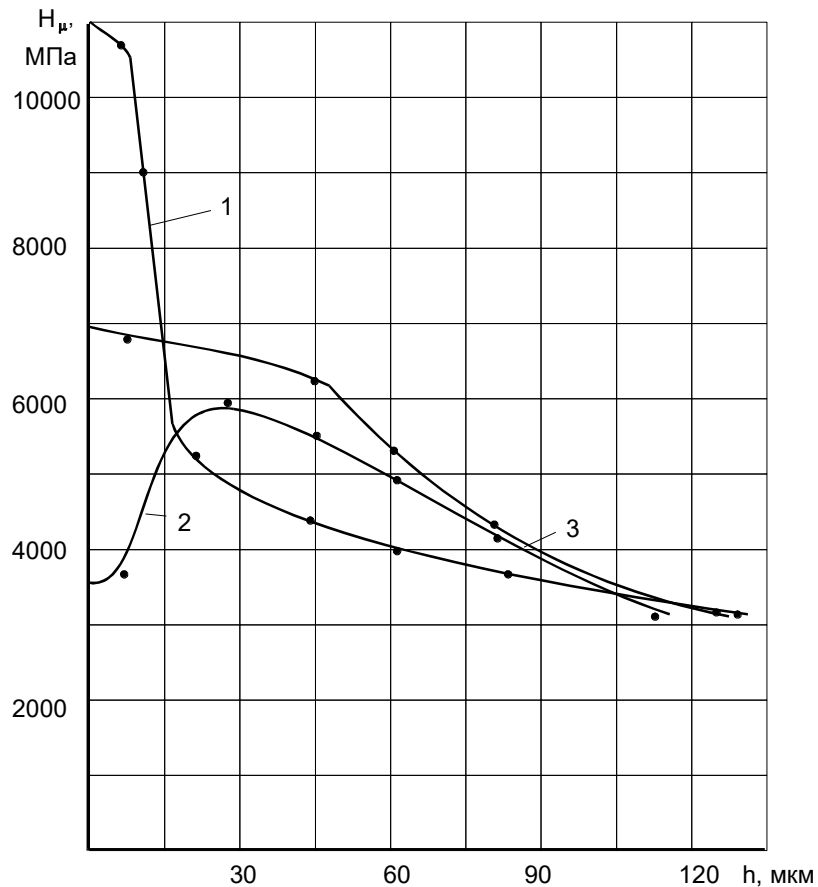


Рисунок 2.7 - Розподіл мікротвердості по глибині шаруючи сталі 40Х після ІА і ЕІЛ: 1 - ІА + ЕІЛВК8; 2 - ІА + ЕІЛCu + ВК8; 3 - ІА + ЕІЛВК8 + ЕІЛCu + ЕІЛВК8

Результати металографічних досліджень зразків після ЕЕЛ і ІА зведені в табл. 2.2.

Аналіз табл. 2.2, показав, що всі покриття, за винятком, покриттів ЕІЛCu + ЕІЛВК8 + ІА, мають 100 % суцільність і товщину, більшу ніж без ІА.

Таким чином, до практичного застосування пропонується технологія нанесення багатошарових покриттів, сформованих в послідовності ЕІЛВК8 + ЕІЛCu + ЕІЛВК8 з ІА, яке виконується до, чи після ЕІЛ. Такі покриття характеризуються низькою шорсткістю ($R_a = 0,6$ мкм), суцільністю 100%, і глибину зміцненого шару порядку 120 мкм. Мікротвердість таких покриттів на поверхні досягає 9500 МПа і потім повільно знижується до мікротвердості основи сталі 40Х.

Таблиця 2.2 - Результати досліджень параметрів якості покриттів ЕІЛ + ІА і ІА+ЕІЛ

Покриття	Товщина шару, мкм	H _ц , МПа	Ra, мкм	Суцільність, %
ЕІЛВК8 + ІА	100 - 120	4860 - 10490	3,5	100
ЕІЛС _u + ЕІЛВК8 + ІА	до 70	2800 - 5750	0,6	85
ЕІЛВК8+ЕІЛС _u +ЕКІЛВК8+ІА	до 90	3500 - 9050	0,6	100
ІА + ЕІЛВК8	до 120	3800 - 11190	3,5	100
ІА + ЕІЛВК8	до 120	3800 - 5940	0,6	100
ІА + ЕІЛВК8 + ЕІЛС _u + ЕІЛВК8	до 120	3800 - 6900	0,6	100

2.3. Проведення порівняльних іспитів на зносостійкість зразків зі сталі 40Х

При дослідженні зносостійкості зразків зі сталі 40Х (HRC 30 – 35) без покриття і з покриттями, нанесеними при ЕІЛ з наступним ІА використовували машину тертя СМЦ-2. При дослідженні використовували схему «кільце - плоский зразок», який був контртілом (зразок із твердого сплаву ВК8 із Ra = 1,6 мкм. Для запобігання схоплювання нижня частина круглого зразка перебувала у ванночці з олією І40А. Результати порівняльних іспитів представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Знос зразків зі сталі 40Х з покриттями і без покриттів в парі з твердим сплавом ВК8

Зміцнення	Знос	
	Ваговий x 10 ³ , кг	лінійний, мкм
Без покриття	0,415	28,510
ЕІЛВК8 + ЕІЛС _u + ЕІЛВК8 + ІА	0,048	3,113

Таким чином, встановлено, що кращою технологією для збільшення зносостійкості є ЕІЛ з наступним ІА, застосування якої підвищує зносостійкість в 9,0 раз.

2.4. Висновки

1. Розроблена методика проведення досліджень для розробки комбінованої технології електроіскрового легування з наступним або попереднім іонним азотуванням для зміцнення і ремонту колінчастих валів компресорів.

2. До практичного застосування пропонується комбінована технологія нанесення багат шарових покриттів ЕІЛВК8 + ЕІЛСu + ЕІЛВК8 з ІА, яке виконується до, чи після ЕІЛ. Шорсткість таких покриттів складає $Ra = 0,6$ мкм, суцільність 100%, глибину зміцненого шару до 120 мкм і мікротвердість на поверхні 9500 МП.

3. Порівняльними іспитами встановлено, що знос зразків сталі 40Х з покриттям ЕІЛВК8 + ЕІЛСu + ЕІЛВК8 + ІА, приблизно в 9,0 раз нижче, ніж в зразках без покриттів.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

ПОРАДИ ЩОДО БЕЗПЕКИ ПОВІТРЯНОГО КОМПРЕСОРА

3.1. Загальні відомості щодо безпеки повітряного компресора

Повітряні компресори корисні для багатьох робіт, але вони також можуть стати небезпечними, якщо їх не обслуговувати належним чином або використовувати неправильно. Компресори, шланги, пневматичні інструменти та електричні з'єднання можуть становити небезпеку на робочому місці. Аварії повітряного компресора потенційно можуть завдати шкоди працівникам і механізмам.

Перед використанням повітряного компресора кожен оператор повинен пройти належне навчання та вивчити відповідні стандарти безпеки. Якщо ви оновлюєте свої повітряні компресори або виконуєте будь-який ремонт, важливо інформувати операторів про будь-які зміни, щоб вони знали, як правильно використовувати машину, і знали, на що звертати увагу. Також важливо ознайомитися з правилами техніки безпеки щодо повітряних компресорів від Управління з охорони праці (OSHA) і переконатися, що ви дотримуєтеся всіх, які стосуються вашого використання або машин.

3.2. Поради щодо безпеки під час встановлення обладнання та робочого місця

Спосіб налаштування обладнання та робочого простору може значно вплинути на безпеку. Деякі поради щодо налаштування повітряного компресора та робочого простору, про які слід пам'ятати, включають:

- **Номінальний тиск компонентів:** переконайтеся, що всі компоненти, включаючи шланги, труби та фітинги, розраховані на максимальний тиск повітряного компресора.

•**Запобіжні клапани:** запобіжні клапани автоматично випускають повітря, якщо тиск у баку стає занадто високим. Ці клапани є важливими запобіжними елементами бака повітряного компресора, тому ви ніколи не повинні намагатися їх відрегулювати, обійти або видалити.

•**Зливні клапани:** якщо ваш компресор має електричний зливний клапан, переконайтеся, що він знаходиться щонайменше на півтора фути над землею. Електричні зливні клапани необхідно тримати подалі від вологи.

Захист для рухомих частин: переконайтеся, що всі рухомі частини, такі як маховики, ремені та шківни, ефективно захищені.

•**Циркуляція повітря в робочому місці:** повітря, що входить, містить забруднюючі речовини та чадний газ, які можуть бути небезпечними для вашого здоров'я. З цих та інших причин важливо, щоб у робочому місці постійно циркулювало чисте повітря.

•**Вологість на робочому місці:** важливо стежити, щоб вологість на робочому місці не ставала занадто високою. Щоб зменшити вміст вологи в повітрі, спробуйте збільшити циркуляцію повітря в робочому приміщенні, увімкніть компресор протягом довшого періоду часу, використовуйте периферійний нагрівач картера.

3.3. Перевірки перед початком роботи

Перед використанням компресора необхідно перевірити різні компоненти, щоб переконатися, що машина працює правильно. Щоб відстежувати будь-які проблеми та переконатися, що ви переглянули всі необхідні області, створіть контрольний список безпеки повітряного компресора, який ваші оператори повинні виконувати перед кожною роботою. Деякі елементи, на які ви можете звернути увагу, включають:

•**Рівень масла:** важливо перевірити, чи є в машині відповідна кількість масла. Використання його без достатньої кількості масла може зіпсувати його так, що знадобиться дорогий ремонт або заміна. Якщо потрібно більше масла, додайте масло в резервуар, але будьте обережні, щоб не переповнити його. Також переконайтеся, що масло не розлилося на зовнішню частину компресора.

•**Змащення:** належним чином застосовуйте рекомендовані мастила для кожного пневматичного інструменту, щоб підвищити ефективність роботи. Перед використанням переконайтеся, що мастильні матеріали не є займистими.

•**Рівень палива:** Повітряні компресори потребують достатньої кількості палива для ефективної роботи. Оператори повинні заправити машину перед використанням. Заправка в середині роботи додає зайвий час проекту — вам потрібно дати компресору охолонути, перш ніж наповнювати резервуар. Може бути небезпечно заправляти повітряні компресори, коли вони ще гарячі. Натомість заправляйте паливо лише тоді, коли машина холодна.

•**Повітряний фільтр:** незалежно від того, чи використовуєте ви компресор щодня чи лише час від часу, перевіряйте повітряний фільтр перед використанням. Якщо він здається брудним або засміченим, вам слід вийняти та помити його (якщо у вас відповідний тип сітки) або замінити на новий фільтр.

3.4. Загальна безпека оператора

Оператори також повинні вживати певних запобіжних заходів під час експлуатації повітряних компресорів і після завершення проекту з використанням повітряного компресора. Важливо постійно контролювати компресорні установки. Тримайте повітряний компресор на видному місці, щоб можна було постійно контролювати його та обслуговувати. Міцна опора та стояння на рівній поверхні на безпечній відстані від пристрою мають вирішальне значення, а також тримати руки, одяг і волосся подалі від повітряного сопла та інструментів.

Усі працівники повинні бути повністю обізнані з технікою безпеки обладнання та технікою, щоб зменшити потенційні травми або нещасні випадки на роботі. Створіть політику відкритих дверей, щоб співробітники відчували себе комфортно робити пропозиції або ставити запитання щодо обладнання.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

4.1. Нормування робіт по відновленню колінчастих валів методом ЕІЛ

Матеріали та обладнання для ЕІЛ сталевих поверхонь колінчастих валів (КВ) зведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка потрібних матеріалів та обладнання

Обладнання та матеріали	Ціна, тис. грн
Пристрій «Елітрон – 22А»	45.000
Сталь 45, 1кг	0,400

4.2. Розрахунок собівартості ЕІЛ

Собівартість виготовлення 1 КВ без покриття

$$C_{\text{баз}} = 160 \text{ грн.}$$

Термін роботи 1 КВ без покриття складає

$$T_{\text{баз}} = 2,0 \text{ р.}$$

Собівартість затрат для відновлення 1 КВ складає:

$$C_{\text{мат}} = 15,0 \text{ грн.}$$

Таким чином повна собівартість буде:

$$C_{\text{нов}} = C_{\text{баз}} + C_{\text{мат}} = 160 + 15 = 175 \text{ грн} \quad (4.1)$$

Враховуючи, що відновлений 1 КВ буде працювати в 2,5 рази довше, то

$$T_{\text{нов}} = T_{\text{баз}} \times 2 = 2,0 \times 2,5 = 5,0 \text{ років.} \quad (4.2)$$

4.3. Розрахунок економічної ефективності розробки

$$E = C_{\text{баз}} : T_{\text{баз}} - C_{\text{нов}} : T_{\text{нов}} = 160 : 2,0 - 175 : 5 = 45,0 \text{ грн} \quad (4.3)$$

4.4 Розрахунок окупності капітальних затрат

Окупність капітальних вкладень (Фок) можна визнати наступним чином

$$F_{\text{ок}} = C_{\text{об}} : E = 45\,000 : 45,0 = 1000 \text{ шт. КВ,} \quad (4.4)$$

де $C_{\text{об}} = 45000$ грн (див. табл. 4.1)

Згідно того, що два працівника за добу відновлюють приблизно 50 КВ, то добова ($T_{\text{доб}}$) окупність буде:

$$T_{\text{доб}} = F_{\text{ок}} : 50 = 1000 : 50 \sim 20 \text{ діб.}$$

Таким чином, економічна ефективність розробки складає 45,0 грн на відновлення 1 колінчастого валу, а добова окупність 20 діб.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Аналіз літературних і патентних досліджень дозволив отримати загальні відомості про мембранні компресори (МК).
2. Розглянуті можливості застосування мембранних технологій в сільському господарстві з контрольованим середовищем.
3. Проведений аналіз існуючих технологій відновлення колінчастих валів поршневих компресорів, в склад яких входять і МК.
4. Розроблена методика проведення досліджень для розробки комбінованої технології електроіскрового легування (ЕІЛ) з наступним або попереднім іонним азотуванням (ІА) для зміцнення і ремонту колінчастих валів компресорів.
5. До практичного застосування пропонується комбінована технологія нанесення багатшарових покриттів ЕІЛ ВК8 + ЕІЛ Сu + ЕІЛ ВК8 з ІА, яке виконується до, чи після електроіскрового легування (ЕІЛ). Шорсткість таких покриттів складає $R_a = 0,6$ мкм, суцільність 100%, глибину зміцненого шару до 120 мкм і мікротвердість на поверхні 9500 МПа.
6. Порівняльними іспитами встановлено, що знос зразків сталі 40Х з покриттям ЕІЛ ВК8 + ЕІЛ Сu + ЕІЛ ВК8 + ІА, приблизно в 9,0 раз нижче, ніж в зразках без покриттів.
7. Результати досліджень опубліковані в 2-х наукових роботах.

Використана література:

1. Chen, H.-C.; Rohman, Y.F.; Ashlah, M.B.; Lin, H.-T.; Sean, W.-Y. Electrification of Agricultural Machinery: One Design Case of a 4 kW Air Compressor. *Energies* 2024, 17, 3647. <https://doi.org/10.3390/en17153647>
2. Scolaro, E.; Beligoj, M.; Estevez, M.P.; Alberti, L.; Renzi, M.; Mattetti, M. Electrification of Agricultural Machinery: A Review. *IEEE Access* 2021, 9, 164520–164541. [Google Scholar] [CrossRef]
3. Liu, Z.; Song, J.; Kubal, J.; Susarla, N.; Knehr, K.W.; Islam, E.; Nelson, P.; Ahmed, S. Comparing total cost of ownership of battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles. *Energy Policy* 2021, 158, 112564. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Chen, T.; Rizwan, M.; Abbas, A. Exploring the Role of Agricultural Services in Production Efficiency in Chinese Agriculture: A Case of the Socialized Agricultural Service System. *Land* 2022, 11, 347. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Zhou, X.; Ma, W.; Li, G.; Qiu, H. Farm machinery use and maize yields in China: An analysis accounting for selection bias and heterogeneity. *Aust. J. Agric. Resour. Econ.* 2020, 64, 1282–1307. [Google Scholar] [CrossRef]
6. Opoku, A. United Nations Sustainable Development Goals. In *Proceedings of the 32nd Annual ARCOM Conference, Manchester, UK, 5–7 September 2016; Volume 2*, pp. 1149–1158. [Google Scholar]
7. Тілман Д., Бальзер К., Хілл Дж. та Бефорт Б. Л. (2011). Глобальний попит на продукти харчування та стійка інтенсифікація сільського господарства. *Proc. Natl. акад. наук.* 108, 20260–20264. doi:10.1073/pnas.1116437108
8. Менегат, С., Ледо, А., і Тірадо, Р. (2022). Викиди парникових газів від глобального виробництва та використання азотних синтетичних добрив у

сільському господарстві. наук. Відповідь 12, 14490. doi:10.1038/s41598-022-18773-w

9. Лі, Дж., Суй, Г., Цзуо, К., і Денг, К. (2011). Зволоження повітря рідкою мембраною з триетиленгліколю. Міжн. конф. Дистанційний датчик навколишнього середовища. трансп. інж. , 7357–7359. doi:10.1109/rsete.2011.5966068

10. Красильников П., Табоада М.А. та Аманулла Х. (2022). Аманулла: використання добрив, здоров'я ґрунту та стійкість сільського господарства. Сільське господарство 12, 462. doi:10.3390/agriculture12040462

11. McClements, DJ, Barrangou, R., Hill, C., Kokini, JL, Lila, MA, Meyer, AS та ін. (2020). Створення стійкого, стійкого та здоровішого харчування за допомогою інновацій і технологій. Annu. Rev. Food Sci. технол. 12, 1–28. doi:10.1146/annurev-food-092220-030824

12. Кован, Н., Феррієр, Л., Спірс, Б., Дрюєр, Дж., Рей, Д., і Скіба, У. (2022). Системи СЕА: засоби досягнення майбутньої продовольчої безпеки та екологічної стійкості? Фронт. Систейн. Харчова система 6, 891256. doi:10.3389/fsufs.2022.891256

13. Бенке, К., і Томкінс, Б. (2017). Системи виробництва продуктів харчування майбутнього: вертикальне землеробство та сільське господарство з контрольованим середовищем. Систейн. наук. Пр. Поліц. 13, 13–26. doi:10.1080/15487733.2017.1394054

14. Ніколсон, К. Ф., Харбік, К., Гомес, М. І., і Маттсон, Н. С.: Економічне та екологічне порівняння ланцюгів постачання листового салату в містах США у традиційному та контрольованому сільському господарстві (СЕА). 33–68. (2020). doi:10.1007/978-3-030-34065-0

15. Долман М.Е., Девіс К., Хасбі В.В., Бовай М., Вебер Дж. та Лі К. (2024). Юнджунг: тенденції, ідеї та майбутні перспективи виробництва в сільському

господарстві з контрольованим середовищем і агроелектричних системах. Департамент США Agric. екон. рез. Серв .

16. Енглер, Н., і Крарті, М. (2021). Огляд енергоефективності в сільському господарстві з контрольованим середовищем. Відновити. Систейн. Energy Rev. 141, 110786. doi:10.1016/j.rser.2021.110786

17. Zeidler, SC, і Vrakking, D. і: Вертикальна ферма 2.0: проектування економічно доцільної вертикальної ферми – об'єднані європейські зусилля для сталого міського сільського господарства. (2015).

18. Хассан А.М., Аль-Софі МАК, Аль-Амуді А.С., Джамалуддін А.М., Фарук А.М., Ровайлі А. та ін. (1998). Новий підхід до процесів мембранного та термального опріснення морської води з використанням нанофільтраційних мембран (частина 1). Опріснення 118, 35–51. doi:10.1016/s0011-9164(98)00079-4

19. Kneifel, K., Nowak, S., Albrecht, W., Hilke, R., Just, R., and Peinemann, K.-V. (2006). Пустоволоконний мембранний контактор для контролю вологості повітря: модулі та мембрани. J. Membr. наук. 276, 241–251. doi:10.1016/j.memsci.2005.09.052

20. Бергеро, С., і Кіарі, А. (2010). Аналіз ефективності гібридної системи кондиціонування повітря з осушувачем рідини та мембранним контактором. Energy Build. 42, 1976–1986. doi:10.1016/j.enbuild.2010.06.003

21. Zhang, LZ, and Jiang, Y. (1999). Тепломасообмін у мембранному вентиляторі з рекуперацією енергії. J. Membr. наук. 163, 29–38. doi:10.1016/s0376-7388(99)00150-7

22. Bettahalli, NMS, Lefers, R., Fedoroff, N., Leiknes, T., and Nunes, SP (2016). Потрійний мембранний контактор з порожнистим волокном для осушення повітря на основі рідкого осушувача. J. Membr. наук. 514, 135–142. doi:10.1016/j.memsci.2016.04.059

23. Шин М.С., Юнг К.-Х., Кваг Дж.-Х. та Чон Ю.-В. (2019). Розділення біогазу за допомогою мембранного газового сепаратора: зосередьтеся на покращенні CO₂

- без втрати СН₄. Процес Saf. Навколишнє середовище. Прот. 129, 348–358. doi:10.1016/j.psep.2019.07.020
24. Hu, C.-C., Lin, C.-W., Hu, C.-P., Keshebo, DL, Huang, S.-H., Hung, W.-S., та ін. (2022). Збагачення двоокисом вуглецю композитних мембран PDMS/PSf для вирішення парникового ефекту та продовольчої кризи. *J. CO₂ Util.* 61, 102011. doi:10.1016/j.jcou.2022.102011
25. Safari P, Rahnama H та Lipscomb G (2024) Можливості для мембранних технологій у сільському господарстві з контрольованим середовищем. *Фронт. учасник наук. технол.* 3:1406326. doi: 10.3389/frmst.2024.1406326
26. Kerin, M.; Pham, D. Smart remanufacturing: A review and research framework. *J. Manuf. Technol. Manag.* 2020, 31, 1205–1235. [Google Scholar] [CrossRef]
27. Sakaо, T.; Sundin, E. How to Improve Remanufacturing?—A Systematic Analysis of Practices and Theories. *J. Manuf. Sci. Eng.* 2019, 141, 021004. [Google Scholar] [CrossRef]
28. BS 8887–220:2010; Design for Manufacture, Assembly, Disassembly and End-of-Life Processing (MADE) The Process of re-Manufacture. British Standards Institution: London, UK, 2010.
29. Xiaoyan, W. Research on design management based on green remanufacturing engineering. *Syst. Eng. Procedia* 2012, 4, 448–454. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
30. Qinghua, Z.; Yihui, T. Developing a remanufacturing supply chain management system: A case of a successful truck engine remanufacturer in China. *Prod. Plan. Control* 2016, 27, 708–716. [Google Scholar]
31. Caterino, M.; Fera, M.; Macchiaroli, R.; Pham, D.T. Cloud remanufacturing: Remanufacturing enhanced through cloud technologies. *J. Manuf. Syst.* 2022, 64, 133–148. [Google Scholar] [CrossRef]

32. Lund, R.T.; Skeels, F.D. Guidelines for an Original Equipment Manufacturer Starting a Remanufacturing Operation; Center for Policy Alternatives: Cambridge, MA, USA, 1983. [Google Scholar]
33. Matsumoto, M.; Yang, S.; Martinsen, K.; Kainuma, Y. Trends and Research Challenges in Remanufacturing. *Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol.* 2016, 3, 129–142. [Google Scholar] [CrossRef]
34. Ke, Q.; Zhang, H.C.; Liu, G.; Li, B. Remanufacturing Engineering Literature Overview and Future Research Needs. In *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2011; pp. 437–442. [Google Scholar]
35. Parker, D.; Riley, K.; Robinson, S.; Symington, H.; Tewson, J.; Jansson, K.; Ramkumar, S.; Peck, D. *Remanufacturing Market Study*; European Remanufacturing Network: Bruxelles, Belgium, 2015. [Google Scholar]
36. Ikeda, A. Remanufacturing of Automotive Parts in Japanese Market. *Procedia CIRP* 2017, 61, 800–803. [Google Scholar] [CrossRef]
37. Tolio, T.; Bernard, A.; Colledani, M.; Kara, S.; Seliger, G.; Duflou, J.; Battaia, O.; Takata, S. Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems. *CIRP Ann.* 2017, 66, 585–609. [Google Scholar] [CrossRef]
38. Afshari, F.; Comakli, O.; Lesani, A.; Karagoz, S. Characterization of lubricating oil effects on the performance of reciprocating compressors in air–water heat pumps. *Int. J. Refrig.* 2017, 74, 505–516. [Google Scholar] [CrossRef]
39. Wang, H.; Peng, Q.; Zhang, J.; Gu, P. Selective Disassembly Planning for the End-of-Life Product. *Procedia CIRP* 2017, 60, 512–517. [Google Scholar] [CrossRef]
40. Hefei University of Technology. *Disassembling Equipment and Method of Compressor*; CN101259473.2008-09-10; Hefei University of technology: Hefei, China, 2008. [Google Scholar]

41. Peng, S.; Li, T.; Tang, Z.; Shi, J.; Zhang, H. Comparative life cycle assessment of remanufacturing cleaning technologies. *J. Clean. Prod.* 2016, 137, 475–489. [Google Scholar] [CrossRef]
42. Yu, L. Study on engine remanufacturing technological process and its repair technology. *J. Chang. Inst. Technol.* 2008, 21, 11–14. [Google Scholar]
43. Xu, B.; Zhang, Z. Surface engineering and remanufacturing technology. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Manufacturing Technology, Xi'an, China, 16–19 June 1999; Volume 99.* [Google Scholar]
44. Fegade, V.; Shrivatsava, R.; Kale, A. Design for Remanufacturing: Methods and their Approaches. *Mater. Today Proc.* 2015, 2, 1849–1858. [Google Scholar] [CrossRef]
45. Afshari, F.; Sözen, A.; Khanlari, A.; Tuncer, A.D.; Ali, H.M. Experimental investigation of effect of refrigerant gases, compressor lubricant and operating conditions on performance of a heat pump. *J. Central South Univ.* 2021, 28, 3556–3568. [Google Scholar] [CrossRef]
46. Wang, D.; Sun, J.; He, Q.; Si, J.; Shi, T.; Li, F.; Yang, J.; Xie, K.; Li, W.; Ge, F. Failure Analysis and Improvement Measures for Crankshaft Connecting Rod of Refrigerator Com-pressor. *Eng. Fail. Anal.* 2022, 141, 106585. [Google Scholar] [CrossRef]
47. Burduhos-Nergis, D.-P.; Vizureanu, P.; Sandu, A.V.; Bejinariu, C. Evaluation of the Corrosion Resistance of Phosphate Coatings Deposited on the Surface of the Carbon Steel Used for Carabiners Manufacturing. *Appl. Sci.* 2020, 10, 2753. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]
48. Pan Q, Wan A, Zhang C, Wei Z. Research on the Technologies of the Compressor Remanufacturing Process. *Applied Sciences.* 2023; 13(11):6789. <https://doi.org/10.3390/app13116789>.

ДОДАТКИ