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

Виконав: Колноокий Р.С.

Керівник: Тарельник В. Б.

ВСТУП

Повітряні компресори — це потужні інструменти, які розвинули сучасні методи ведення сільського господарства, що робить їх незамінними для фермерів, які прагнуть оптимізувати свою роботу. В дипломній магістерській роботі розглянуто безліч застосувань повітряних відцентрових і інших компресорів у сільському господарстві, їх переваги та те, як вони можуть змінити ферму.

Повітряні компресори пропонують численні переваги, значно підвищуючи ефективність виконання різноманітних сільськогосподарських завдань. Однією з основних переваг є можливість живлення пневматичних інструментів. Ще однією істотною перевагою є роль повітряних компресорів у системах поливу.

Стиснене повітря можна використовувати для живлення водяних насосів, забезпечуючи послідовне та ефективне водопостачання посівів. Це зменшує залежність від ручної праці та допомагає підтримувати оптимальний рівень вологості ґрунту. Нарешті, повітряні компресори мають неоціненне значення для управління відходами тваринництва. Вони можуть живити системи аерації в лагунах для гною, покращуючи процес розкладання та зменшуючи запахи. Це не лише покращує екологічну стійкість ферми, але й скорочує експлуатаційні витрати, пов’язані з утилізацією відходів.

При виборі марки компресору слід знати, що для великих операцій на фермерських і сільськогосподарських господарств найкращим варіантом є відцентрові компресори. Вони здатні подавати великі обсяги стисненого повітря, що робить їх придатними для важких завдань. Однак вони дорожчі та вимагають більше обслуговування, тому їх зазвичай використовують у великих сільськогосподарських установках. Враховуючи вищесказане слід відмітити, що тема дипломної магістерської роботи: «Удосконалення технології підвищення

працездатності відцентрових компресорів, задіяних на підприємствах сільського господарства» актуальна та своєчасна.

РОЗДІЛ 1
ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ КОМПРЕСОРІВ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

1.1. Загальні відомості про відцентрові компресори (ВК)

Відцентровий компресор (рис. 1.1.) використовує відцентрову силу для створення тиску та використовується в різних сферах застосування. Компресор прискорює повітря від центру робочого колеса, а потім уповільнює його в дифузорі. Під час цього процесу розширення повітря кінетична енергія перетворюється на потенційну енергію у вигляді тиску повітря.

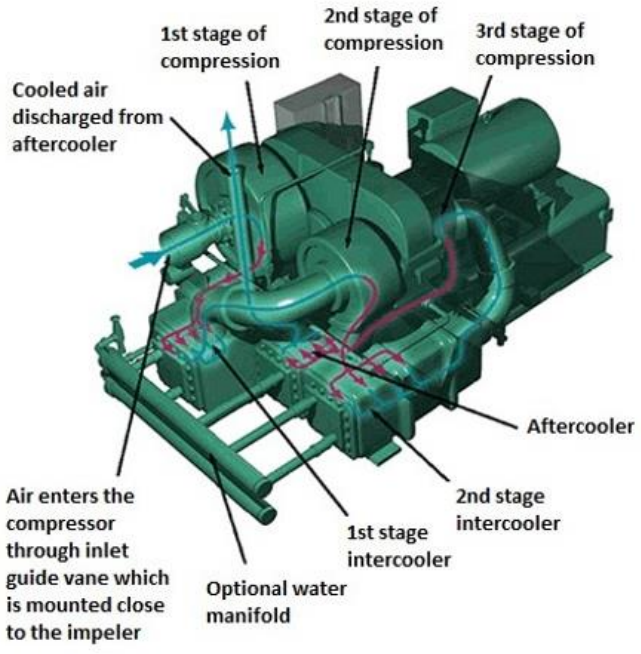
Рисунок 1.1. – Загальний вигляд відцентрового компресора [1]

Багатоступінчасті відцентрові компресори, особливо триступеневі, присутні і необхідні на багатьох підприємствах. Кожна окрема стадія може створити підвищення тиску від 2:1 до 3:1, а наступна третя стадія може підвищити його до підвищення тиску на 8:1. Ще однією великою перевагою

триступеневих компресорів є просте регулювання температури та вологи на кожному ступені стиснення.

Відцентровий компресор є складною машиною і складається з багатьох компонентів (рис. 1.2):

- Мотор
- Головна передача для приводу фаз стиснення повітря.
- Вхідний дросельний клапан або вхідні напрямні лопатки
- Перший ступінь стиснення повітря
- Другий ступінь стиснення повітря
- Третій ступінь стиснення повітря
- Додатковий охолоджувач
- Продувний клапан
- Зворотний клапан
- Панель управління



- Рисунок 1.2 - Основні вузли та процеси відцентрового повітряного
  - компресора [1]

Складові частини відцентрового компресора:

- Робоче колесо: обертовий елемент відцентрового компресора, який відповідає за передачу кінетичної енергії газу та прискорення його назовні до периферії.
- Дифузор: високошвидкісний газ потрапляє в дифузор після виходу з робочого колеса, щоб він перетворював газ високої швидкості в газ високого тиску, зменшуючи його швидкість і збільшуючи тиск.
- Спіральний корпус : вигнутий нерухомий корпус, що оточує робоче колесо та дифузор, який збирає газ високого тиску з дифузора та направляє його до вихідного отвору компресора.
- Впускні направляючі лопатки або вхідний дифузор: додатковий компонент, він відповідає за контроль потоку газу, що надходить у робоче колесо, покращуючи ефективність компресора в різних робочих умовах.
- Підшипник і вал: коли крильчатка з’єднана з валом компресора, вона передає енергію обертання від приводу до крильчатки. Підшипники підтримують вал і дозволяють йому плавно обертатися.
- Ущільнення: вони використовуються для запобігання витоку газу між обертовими та нерухомими компонентами. Зазвичай зустрічаються лабіринтові ущільнення.
- Система охолодження та змащення: перша має вирішальне значення для підтримки оптимальних робочих температур, тоді як остання забезпечує належне змащення підшипників та інших обертових частин для зменшення тертя та зносу.
- Драйвер: відповідальний за забезпечення механічної енергії для обертання робочого колеса, це можуть бути електродвигуни, парові турбіни, газові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння…
- Корпус: крайня частина, яка підтримує тиск
- Балансувальний барабан: його роль полягає в балансуванні тиску на сторонах нагнітання та всмоктування
- З’єднання: відповідає за передачу потужності від драйвера до компресора
- Як працює відцентровий компресор

Принцип роботи і переваги ВК

ВК демонструє відмінний робочий процес від інших типів компресорів, таких як гвинтовий компресор. У цьому випадку він дотримується принципу Бернуллі, який стверджує, що в межах потоку нестисливої рідини (така, що має незначну в’язкість і відповідає законам динаміки рідини), повна енергія рідини залишається постійною вздовж лінії потоку, будучи сума трьох компонентів: потенційної енергії, кінетичної енергії та енергії тиску.

- У відцентровому компресорі лопаті робочого колеса обертаються з високою швидкістю, завдяки чому газ рухається по колу. Цей рух створює радіальне прискорення, прискорюючи газ до зовнішньої периферії робочого колеса.
- Крильчатка фактично є серцем відцентрового компресора. Це обертове колесо з вигнутими лопатями здатне втягувати газ із центру та передавати йому кінетичну енергію.
- Після виходу з робочого колеса високошвидкісний газ надходить у дифузор, який потім перетворює кінетичну енергію газу в енергію тиску, сповільнюючи його та збільшуючи тиск.
- Нарешті, газ виходить із компресора через випускний патрубок, де він готовий для подальшого використання або обробки.

Основною перевагою ВК є їхня здатність ефективно працювати з великими обсягами газу. Це особливо вірно для застосувань, які вимагають середньої та високої швидкості потоку та помірного ступеня стиснення. Крім того, порівняно з іншими альтернативами, ВК зазвичай потребують менше обслуговування (оскільки вони мають менше рухомих частин) і можуть досягати вищих витрат.

ВК часто можна використовувати в централізованих системах охолодження, забезпечуючи високу продуктивність і ефективність у стійкому та сучасному обладнанні, здатному ефективно обробляти великі обсяги газів.

- Таким чином, використання ВК у системах опалення та охолодження сприяє досягненню бажаного ефекту охолодження або нагріву, підтриманню контролю температури та забезпеченню надійної роботи.

Сучасні відцентрові повітряні компресори є ефективними, надійними та компактними і зазвичай розміщуються на одній основі, включаючи привід, коробку передач, охолодження, трубопроводи та панель керування.

Сучасні відцентрові повітряні компресори містять передову технологію, яка приносить багато переваг кінцевим користувачам. До них відносяться безмасляна подача повітря, проста установка, недорога експлуатація та легке обслуговування. Завдяки цьому ВК знайшли широке застосування в багатьох галузях промисловості: сільському господарстві, нафта і газ, хімія, нафтохімія, енергія, целюлозно-паперова промисловість, харчова промисловість, текстильна промисловість (рис. 1.3).

Рисунок 1.3 - Типове застосування відцентрового повітряного компресора [1]

Несправність або механічна несправність ВК може мати серйозні наслідки для виробничого процесу підприємства. Це не тільки спричинить несправність іншого обладнання, але й створює підвищені ризики для безпеки людей і навколишнього середовища, призведе до простою виробництва, втрати доходів від виробництва та дорогого ремонту.

Причини поломок можуть бути різними, але найпоширенішою є поломка механічних компонентів через дисбаланс, невідповідність, втому металу, недостатнє або неправильне змащення, дефекти ущільнення та накопичення речовини (рис. 1.4).

Рисунок 1.4 - Приклад механічної несправності ВК [1]

Фінансовий збиток включав не лише пошкодження обладнання, але й значні виробничі втрати в результаті простою виробництва.

Вал є критично важливою обертовою частиною для передачі руху та перенесення сил у механізмі стиснення. Підшипники встановлені на корпусі, щоб підтримувати як вал, так і сам вал. Тому вібрація валу або вібрація на корпусі підшипника є першими симптомами та надійним показником багатьох проблем із системою відцентрового повітряного компресора.

Моніторинг машини

Для багатьох заводів надійна робота відцентрових компресорів має вирішальне значення. Тому важливо контролювати ці машини за різними індикаторами, щоб отримати уявлення про стан машини, щоб можна було запобігти несправностям. Моніторинг вібрації є одним із найбільш часто використовуваних методів, які швидко виявляють несправності, перш ніж вони можуть спричинити серйозні наслідки. Таким чином, впровадження моніторингу вібрації приносить багато переваг, які разом забезпечують кращі фінансові результати:

- Це збільшує час безвідмовної роботи та продуктивність
- Це запобігає несподіваним простоям і ремонтним роботам
- Це сприяє ефективному плануванню технічного обслуговування

Американський інститут нафти (API) є основним прихильником розробки стандартів для моніторингу машин, і встановлений ними стандарт API-670 використовується багатьма кінцевими користувачами обертових машин.

З 1970 року API визнає датчики наближення як придатні вимірювальні інструменти для визначення прийнятної вібрації валу під час заводських приймальних випробувань. API 670 пізніше було доповнено вмістом про температуру та матеріал для вимірювання вібрації корпусів коробок передач.

У 2001 році стандарт API 670 було знову переглянуто і він отримав назву «*Стандарт захисту машин»* . Відтоді API 670 став найбільш застосовуваним стандартом для моніторингу вібрації у світі, оскільки він містить визнані «належні технічні практики» для систем моніторингу вібрації.

Для моніторингу триступеневого відцентрового компресора доцільно встановити принаймні один датчик на кожне робоче колесо для вимірювання радіальної вібрації та принаймні один сейсмічний датчик для вимірювання вібрації коробки передач (рис. 1.5).

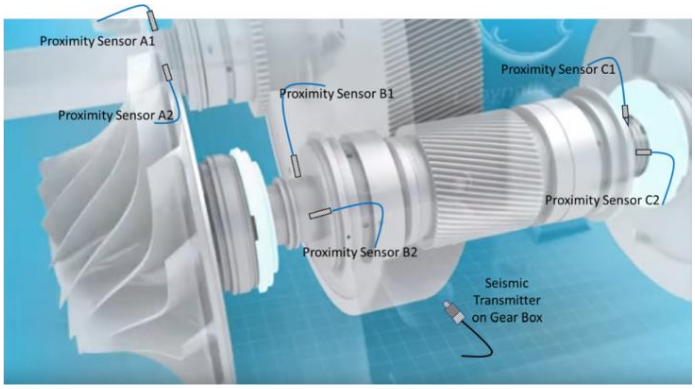


Рисунок 1.5 - Позиціонування датчиків на ВК [1]

1.2. Повітряні компресори в сільському господарстві та фермерстві

Повітряні компресори для сільськогосподарської промисловості відіграють ключову роль у сільському господарстві та фермерстві: фактично, деякі застосування повітряних компресорів для сільськогосподарської промисловості добре відомі десятиліттями, а деякі застосування промислових повітряних компресорів у сільському господарстві є більш передовими, пропонуючи заглянути в майбутнє сільського господарства.

Підсумовуючи, основні сфери застосування промислових повітряних компресорів у сільському господарстві такі:

Для живлення водяних насосів - найпопулярнішим застосуванням промислових повітряних компресорів у сільському господарстві є живлення водяних насосів для розподілу водних ресурсів (рис. 1.6). У порівнянні з електричною енергією, яка живить водяні насоси, повітряний компресор пропонує альтернативне джерело енергії; особливо під час відключення електроенергії, повітряний компресор може працювати від портативного генератора, що робить їх корисним резервним варіантом.

Рисунок 1.6 – Використання повітряних компресорів для живлення водяних насосів [2]

Для обприскування посівів – стиснене повітря потрібне для розпилення добрив і пестицидів на посіви, що важливо для посадки культури (1.7).

Рисунок 1.7 – Використання повітряних компресорів для обприскування посівів [2]

Для накачування шин на транспортних засобах.

У сільськогосподарській промисловості велика різноманітність транспортних засобів є важливою для підтримки сільськогосподарського бізнесу. На щастя, промислові повітряні компресори в сільському господарстві можуть швидко підвищити тиск у шинах більшості сільськогосподарських транспортних засобів, таких як трактори, квадроцикли тощо (рис. 1.8).

Рисунок 1.8 – Використання повітряних компресорів для накачування шин [2]

Для живлення пневматичних інструментів. Крім транспортних засобів, існують інші пневматичні інструменти, які потребують промислових повітряних компресорів у сільському господарстві: наприклад, пневматичні степлери та пістолети для цвяхів можуть виконувати роботи своїми руками на фермах, такі як будівництво дротяної сітки на фермі тощо. Стиснене повітря також може живити конвеєрні системи для управління та обробки врожаю.

1.3. Поширені причини проблем із ВК

1.3.1. Підвищення температури підшипника

Робоча температура підшипника ВК зазвичай становить 45 ~ 50 ℃ і не повинна перевищувати 65 ℃. Як правило, коли температура становить 65°C, дзвонить сигналізація, а коли вона досягає 75°C, пристрій зупиняється.

Перераховані причини підвищення температури підшипника (рис. 1.9).

* Якщо зазор між корпусом підшипника та цапфою занадто малий, його слід відрегулювати, почистивши корпус.

* Маленький впускний отвір для мастила підшипника призведе до недостатнього споживання масла, тому отвір дросельного кільця слід відповідно збільшити.

* Температура масла занадто висока. Відрегулюйте кількість охолоджуючої води в масляному радіаторі.

* Олива забруднена водою або стає брудною та зіпсованою, що вплине на ефект змащення. Слід перевірити масляний радіатор, щоб запобігти витоку води, або замінити масло.

* Бруд потрапляє в підшипник і зношує корпус підшипника. Підшипник і маслопровід слід очистити, а корпус здати на металобрухт.

* Якщо корпус підшипника пошкоджений, його потрібно замінити.

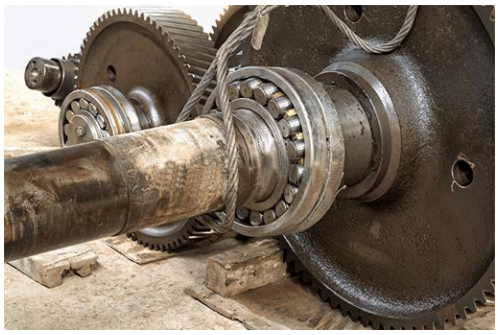


Рисунок 1.9 - Фотографія підшипника відцентрового компресора зблизька [2]

1.3.2. Перенапруга

Викид – це різновид аномальної вібрації, яка виникає, коли швидкість потоку турбокомпресора зменшується до певної міри. ВК — це тип турбокомпресора, який може бути серйозно пошкоджений стрибками (рис. 1.10).

Коли відцентровий компресор стрибає, типові явища включають:

* Тиск на виході з компресора підвищується, а потім різко падає і циклічно коливається.

* Швидкість потоку компресора різко падає і різко коливається. У важких випадках повітря може навіть повертатися у всмоктувальну трубу.

* Показники лічильника струму та потужності двигуна, що приводить в дію компресор, нестабільні та сильно коливаються.

* Пристрій сильно вібрує, і при цьому видає ненормальний шум повітряного потоку.

Рисунок 1.10 - Пошкоджений ВК через стрибок [2]

1.3.3. Фактори, що впливають на об’єм вихлопних газів

Є багато факторів, що впливають на обсяг газу ВК. Окрім проектування, виробництва та монтажу, ми розповімо про інші фактори, наведені нижче.

* Повітряний фільтр забитий або опір збільшується. У цей час тиск всмоктування компресора знижується. Тиск на виході залишається незмінним, тому коефіцієнт тиску збільшується. Відповідно до кривої продуктивності компресора, коли коефіцієнт тиску збільшується, робочий об’єм зменшується.

* Обладнання для розділення повітря заблоковано, опір збільшується або клапан виходить з ладу. У цей час підвищується тиск всмоктування компресора. Якщо тиск всмоктування залишається незмінним, коефіцієнт тиску збільшується, що призводить до зменшення об’єму вихлопу.

* Заблокований інтеркулер або підвищений опір. У цей час обсяг вихлопу зменшується. Однак ситуація блокування з різних сторін неоднакова.

Якщо опір повітряної сторони збільшиться, збільшиться лише внутрішній опір машини, що зменшить ефективність компресора та об’єм. Якщо опір з боку

води збільшується, циркулююча охолоджуюча вода буде зменшена, що призведе до поганого охолодження газу. Пізніше це впливає на наступну стадію всмоктування, так що обсяг вихлопу компресора зменшується.

* Витік газу через погане ущільнення

(1) Внутрішній витік: якщо є внутрішній витік із компресора, стиснений газ повертається та стискається двічі. Це вплине на робочі умови кожного ступеня, збільшить коефіцієнт тиску на ступені низького тиску та зменшить на ступені високого тиску. В результаті компресор віддаляється від проектного робочого стану і робочий об'єм зменшується.

(2) Зовнішній витік: тобто витік повітря з торцевого ущільнення валу назовні корпусу. Якщо є зовнішній витік із компресора, об’єм всмоктування постійний, але частина стисненого газу витікає, що спричиняє зменшення об’єму вихлопу.

* Витік кулера

Якщо це перша стадія витоку, тиск з боку води вищий, ніж тиск з боку повітря, тому охолоджуюча вода буде надходити в канал з боку повітря та далі захоплюватиметься потоком повітря в робоче колесо та дифузор. Через певний період часу це спричинить забруднення та закупорку, зменшуючи потік повітря. Якщо це вторинний і третинний витік, стиснене повітря буде витікати в охолоджуючу воду і втікати, оскільки тиск повітря вищий, ніж водяний, зменшуючи об’єм вихлопу.

* Падіння частоти або напруги живлення

Через падіння частоти або напруги в електромережі швидкість двигуна компресора впаде, а обсяг вихлопу зменшиться.

* Підвищення температури всмоктування та зменшення густини газу

Коли температура всмоктування на будь-якій стадії підвищується, щільність газу зменшуватиметься, що призведе до зменшення об’єму всмоктування.

1.3.4. Витік ущільнення

Витоки на ущільнювачі кришки коліс і міжступеневому ущільненні є внутрішніми витоками. Серйозний внутрішній витік збільшить втрати енергії компресором, зменшить ефективність ступеня та компресора, а також об’єм газу.

Однак механізм впливу цих двох також різний. Витік ущільнення колісної кришки змушує стиснений газ повертатися до робочого колеса, а потім виконує другу стадію стиснення. Це в основному збільшує загальне енергоспоживання сцени. Внутрішній витік міжступеневого ущільнення збільшить коефіцієнт тиску на ступені низького тиску та зменшить на ступені високого тиску.

Хоча серйозний витік ущільнення диска балансу мало впливає на продуктивність компресора, але це значно впливає на безпечну роботу компресора.

Зовнішній витік ущільнення валу відбувається від ущільнення до зовнішньої частини корпусу. Немає сумніву, що серйозний зовнішній витік безпосередньо зменшить обсяг вихлопу компресора.

В табл. 1.1 представлений перелік проблем, пов’язаних з використанням ВК і їх вирішення.

Таблиця 1.1 - Список проблем і рішень для відцентрових компресорів

немає	**проблема**	**Причина**	**Рішення**
1	Аномальна вібрація компресора	Зміщення агрегату	Знову вирівняйте пристрій. Виключити вплив зовнішньої сили на трубопровід.
		Незбалансований ротор	Перевірте кривизну ротора та перевірте, чи він не забруднений чи пошкоджений. При необхідності відрегулюйте баланс ротора.
		Ненормальний підшипник	Огляньте та відремонтуйте підшипник.
		Поломка зчеплення або дисбаланс	Відремонтуйте або замініть муфту та відбалансуйте її.
		Протираються статичні і динамічні частини, нерівномірно осідає основа або деформується основа.	Відрегулювати монтажний зазор або замінити деталі, що вийшли за межі допуску, усунути деформацію основи машини, зміцнити фундамент.

		Незвичайний тиск і температура масла	Перевірте тиск і температуру масла, а також умови роботи масляної системи в кожній точці змащування.
		Сплеск компресора	Перевірте, чи працює компресор далеко від точки помпажу, чи правильний запас захисту від помпажу, а чистота газу знижена.
		Газ приносить рідину або існує домішка.	Усуньте запасну рідину та домішки.
		Надмірне механічне та електричне биття вібровимірювальної частини цапфи	Усунути механічне та електромагнітне відхилення положення шийки валу.
		Термічний вигин ротора	Відремонтуйте або замініть ротор.
		Ротор тріснутий.	Відремонтуйте або замініть ротор.
II	Незвичайна вібрація компресорного трубопроводу	Надмірне навантаження на труби	Зніміть напругу в трубопроводі.
		Збудження потоку повітря	Налаштуйте параметри процесу.
		Неправильна конструкція опори трубопроводу	Перевірте ще раз.
III	Надмірна осьова тяга та збільшення зміщення валу	Міжступеневе ущільнення пошкоджене або зношене, що призводить до збільшення зазору ущільнення.	Замініть ущільнювач.
		Зношена поверхня зуба шестерні або муфти діафрагми.	Відремонтуйте або замініть муфту та інші частини.
		Сплеск компресора або нестабільний потік повітря	Відрегулюйте параметри процесу, щоб компресор працював стабільно.
		Упорне торцеве биття упорного диска та серйозна деформація посадкового місця підшипника	Замініть упорний диск або гніздо підшипника
		Неправильне нульове положення датчика переміщення валу	Перевірте датчик і повторно відкалібруйте нульове положення датчика.
		Коливання температури і тиску масла	Налаштуйте його відповідно.

		Пошкоджений опорний підшипник.	Замініть опорний підшипник.
IV	Підвищення температури підшипника компресора	Неправильне встановлення термометра або пошкодження термопари	* Перевірте встановлення манжети для вимірювання температури. * Відкалібруйте термометр, замініть або відремонтуйте термопару.
		Температура подачі масла висока або якість масла не відповідає вимогам.	Перевірте тиск і потік охолоджувальної води. Використовуйте запасний охолоджувач або замініть його новим.
		Зменшена кількість мастила або низький тиск масла	* Перевірте в'язкість масла, вміст води та здатність до деемульгування тощо. * Перевірте рівень масла в масляному баку і робочий стан насоса.
		Пошкодження підшипника	Відремонтуйте або замініть підшипник.
		Підвищена осьова тяга або неправильна збірка опорного підшипника	* Перевірте стан ротора компресора та ущільнення. * Відрегулювати зазор, оглянути опорний підшипник.
		Витік повітряного ущільнення компресора	Відрегулюйте зазор повітряного ущільнення або замініть повітряне ущільнення.
V	Несправність радіального підшипника компресора	Незвичайне мастило	Мастило має бути кваліфікованим.
		Неправильне розташування компресора	Перевірте вирівнювання та відрегулюйте його, якщо необхідно.
		Неправильний зазор підшипника	Перевірте зазор, при необхідності відрегулюйте або замініть підшипник.
		Дисбаланс компресора або муфти	Перевірте вузол ротора та муфту, щоб побачити, чи немає бруду або відсутній ротор. Якщо необхідно, збалансуйте ротор.
VI	Несправність упорного підшипника компресора	Надмірна осьова тяга	* Перевірте зазор у опорному підшипнику. * Перевірте різницю тиску газу на вході та виході. У разі необхідності перевірте, чи не перевищує стандарт зазор внутрішнього ущільнювального кільця.
		Ненормальне змащення	Перевірте наступні елементи: * Масляний насос, фільтр і охолоджувач * Температура, тиск і кількість масла. * Якість масла
		Робоча точка потрапляє в зону перенапруги або знаходиться надто близько до межі перенапруги.	* Перегляньте положення робочої точки на характеристичній лінії компресора. * Якщо він знаходиться близько до межі стрибків або потрапляє в зону стрибків, умови роботи слід відкоригувати.

VII	Напруга компресора	Неправильне налаштування запасу захисту від перенапруги	Змінити значення налаштування системи автоматичного керування.
		Недостатній потік всмоктування	* Перевірити ступінь відкриття впускного клапана та усунути закупорку проходу. Встановіть автоматичне керування для захисту від перенапруги. * Зупиніть компресор, коли потік занадто низький.
		Тиск на виході компресора занадто високий.	* Коли компресор сповільнюється та зупиняється, газ не випускається та не повертається. * Випускний зворотний клапан несправний або негерметичний, і газ заповнюється. Визначте причини.
		При зміні умов роботи вентиляційний клапан і зворотний клапан не відкриваються вчасно.	Коли вхідний потік зменшується або швидкість змінюється, протипомпажний вентиляційний клапан або зворотний клапан слід вчасно відкрити.
		Пристрій захисту від перенапруги не вмикається автоматично.	Пристрій захисту від перенапруги має вмикатися автоматично під час нормальної роботи.
		Неточна або несправна робота антипомпажного пристрою або механізму	* Регулярно перевіряйте робочий стан антипомпажного пристрою. * Якщо він несправний, неточний, застряг чи затримується, вирішіть проблему негайно.
		Занадто швидко збільшуйте швидкість і тиск.	Повільно і рівномірно збільшуйте швидкість і тиск.
		Знизьте швидкість, не знижуючи тиск	Тиск слід знизити перед тим, як зменшити швидкість.
		Серйозні зміни властивостей або стану газу	Налаштуйте параметри процесу в межах проектних вимог.
		Міжступеневий витік збільшується	Замініть міжступеневе ущільнення.
		Змінюється молекулярна маса газу.	Змініть співвідношення змішаного газу до необхідного діапазону.
		Пошкоджений повітряний ущільнювач гребінки на кінці валу	Відремонтуйте або замініть повітряний ущільнювач гребінки.
		Пошкоджене кільце ущільнювача корпусу циліндра	Замініть ущільнювальне кільце.

VIII	Витік кінця валу компресора та ущільнювальної поверхні	Надмірний тиск масла	Відрегулюйте тиск масла до необхідного діапазону.
		Пошкоджений сальник	Замініть сальник.
		Підвищена герметичність компресора	Замініть або відремонтуйте міжступеневе газове ущільнення.
		Недостатня точність ущільнювального кільця	Перевірте кільце ущільнювача, при необхідності відремонтуйте або замініть його.
		Якість ущільнювальної оливи та температура оливи не відповідають вимогам.	Перевірте якість ущільнювальної оливи та замініть її, якщо індекс не відповідає. Перевірте та відрегулюйте температуру ущільнювальної олії.
		Система перепаду тиску нафти та газу працює погано.	Перевірте тиск і контур ущільнюючого газу та відрегулюйте його до вказаного значення. Перевірте робочий стан кожного компонента в системі перепаду тиску.
		Зношена або пошкоджена пломба	Зніміть ущільнювач, а потім відрегулюйте зазор. Відремонтуйте або замініть його відповідно до вимог.
		Торцева поверхня гнізда плаваючого кільця порізана або зношена.	Уникайте пошкоджень, зменшуйте знос і замінюйте нові деталі, якщо необхідно.
		Сидіння плаваючого кільця зношене нерівномірно.	Відшліфуйте, виправте контактну поверхню або замініть на нові запчастини.
		Розбите або пошкоджене ущільнювальне кільце	* Він може бути пошкоджений під час складання. Зверніть увагу на збірку. * Слід уникати роботи без навантаження, наскільки це можливо. Його слід замінити, якщо його неможливо відремонтувати.
		Ущільнювальна поверхня, ущільнення та ущільнювальні кільця піддані корозії.	* Проаналізуйте природу газу. * Змінити матеріал деталей або замінити на нові.
		Ущільнювальна частина замерзає через роботу низькотемпературної частини.	Усуньте обмерзання або очистіть і загерметизуйте атмосферу сухим азотом.
		Робоча похибка вимірювального приладу	Перевірте вимірювальні прилади системи та відремонтуйте або замініть їх, якщо вони виявляться неточними.
IX		Пошкоджена колодка вхідного фланця	Замініть колодку.

	Витік вхідного та вихідного фланців	Пошкоджена колодка вихідного фланця	Замініть колодку.
		Зношена ущільнювальна поверхня входу	Відремонтуйте ущільнювальну поверхню.
		Зношена ущільнювальна поверхня вихідного отвору	Відремонтуйте ущільнювальну поверхню.
		Надмірне напруження вхідного трубопроводу, деформація фланця	Усунення напруги в трубах.
		Надмірна напруга вихідного трубопроводу, деформація фланця	Усунення напруги в трубах.
X	Витік сальника	Зазор сальника перевищує норму	Замініть сальник.
		Заблокований отвір повернення масла на сальнику	Розблокуйте отвір для повернення масла.
		Зношена гребінка сальника	Відремонтуйте ущільнювальну частину або змініть положення осьового ущільнення.
		Верхній і нижній сальники не концентричні	Знову зберіть сальник.
		Неправильна збірка	Зберіть його правильно.
		Надмірний тиск масла	Інші операції
		Зміщення та вібрація	Усунути
		Збій у роботі масляного вентилятора	Перевірте роботу масляного вентилятора та очистіть фільтрувальний елемент сепаратора масляного туману
XI	Перевантаження двигуна	Проблема з електрикою	Вивчити роботу автоматичного вимикача; перевірте, чи не знижується напруга і чи знаходиться різниця струмів кожної фази в межах 3%.
		Поверхня дифузора, що примикає до робочого колеса, піддається корозії, і ступінь дифузії знижується.	Перевірте проточні канали дифузора. Якщо є корозія, покращіть матеріал або збільште твердість поверхні. Очистіть поверхню, щоб зробити її гладкою. Якщо робоче колесо та дифузор стикаються або дифузор деформується, відремонтуйте або замініть його відповідно.

		Деформація крильчатки або дифузора	Відремонтуйте або замініть їх.
		Обертова частина стикається з нерухомою	Огляньте зазор кожної частини. Якщо він не відповідає вимогам, його необхідно відрегулювати та замінити.
		Високий тиск всмоктування	Порівняйте з проектними даними, знайдіть проблему та вирішіть її.
XII	Зміна кольору мастила	Емульгування мастила	Замініть мастило
		Температура масла занадто висока	* Посилення ефекту охолодження. * Покращення методів змащення. * Монтажний зазор масляного насоса неправильний.
		Надлишок механічних домішок	* Замініть мастило. * Перевірте систему підшипників і замініть зношені частини.
		Невідповідне мастило	Замініть мастило.
XIII	Ненормальний тиск мастила	Витік на з'єднанні	Усунути протікання.
		Пошкоджений регулятор тиску	Замініть регулятор тиску.
		Масляний насос не може підняти тиск.	Відремонтувати масляний насос.
		Забитий масляний фільтр.	Замініть масляний фільтр.
		Неточне відображення манометра	Замініть манометр.
		Погана віддача масла	Перевірте і розблокуйте трубопровід повернення масла.
		Витік фаски в гніздо підшипника	Усунути протікання.
XIV	Несправність муфти компресора	Пошкоджена діафрагма	Замініть діафрагму.
		Ослаблені та зношені сполучні болти	Закріпіть з'єднання або замініть його.
		Зіткнення огородження зчеплення	Відрегулюйте положення захисника.
		Мастило зіпсувалося або його стало менше	Замініть або додайте його.

		Зіткнення огородження зчеплення	Відрегулюйте положення захисника.
		Витік масла в кришці захисного кожуха муфти	Перефарбуйте герметик або замініть ущільнювальну стрічку.
XV	Витік міжступеневого охолоджувача	Корозійний і зношений кулер	Перевірте якість охолоджувальної води, щоб переконатися, що вона забруднена та чи використовується невідповідна вода.
		Зламаний кулер	* Перевірити, чи надійно закріплена трубка, чи не пошкоджена нерухома частина. Вчасно замінюйте. * Перевірте, чи тиск охолоджувальної води знаходиться в межах проектного діапазону, і вчасно відрегулюйте його.
		Неправильний монтаж	* Перевірте, чи герметична внутрішня труба. * Перевірте, чи поверхня фланця рівна, а з'єднання в нормі.

Таким чином, аналіз таблиці 1.1 показує, що одною з розповсюджених причин зупинок ВК є пошкодження його підшипника ковзання (ПК).

1.4. Висновки:

1. Проаналізовані умови роботи ВК і основні причини проблем, пов'язаних з їх використанням.

2. Нормальна експлуатація ВК в значній ступені залежить від надійності і довговічності їх підшипників ковзання.

1.5. Мета роботи і задачі досліджень.

Метою роботи є підвищення працездатності відцентрових компресорів, за рахунок удосконалення технології виготовлення і ремонту підшипників ковзання (ПК).

Задачами дослідження є:

- аналіз умов роботи підшипників ковзання відцентрових компресорів;
- аналіз основних причин, що впливають на надійність і довговічність підшипників ковзання;

- аналіз методів підвищення експлуатаційних властивосте ПК і вибір найбільш перспективних;
- розробка методики проведення досліджень;
- проведення порівняльних іспитів.

РОЗДІЛ 2
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ КОМПРЕСОРІВ

2.1. Загальні відомості про ПК

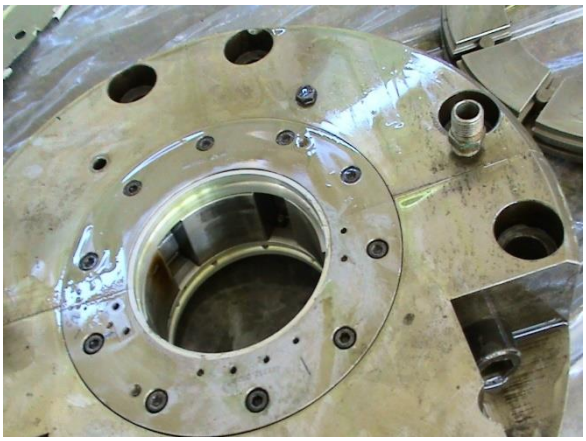
ПК поділяють за навантаження на їх опорні поверхні:

- радіальні ПК, що приймають радіальні навантаження;

- упорні ПК, що приймають осьові навантаження;

- радіально-упорні ПК, що приймають як радіальні так і осьові навантаження.

Під ПК розуміють підпори деталей, що обертаються і які працюють при ковзанні поверхневого шару цапфи (шийки валу ротора) по поверхні вкладишу підшипника (ВП) [3-5] (рис. 2.1).



а

б

Рисунок 2.1 - Підшипники ковзання компресора низького тиску: а – штатний, б – демпферний фірми «ТРІЗ» [6]

ПК складається з корпусу, вкладишів, на яких розташований вал, і змащувальних пристосувань.

Головним елементом ПК є ВП який розташований в корпусі.

Антифрикційні властивості поверхні цапфи і ВП, поверхні яких контактують, залежать від якості їх матеріалів і мастила.

Підшипникові матеріали ВП (бабіти) працюють у парі матеріалом цапфи (сталь чи чавун) валу. Ціна валу значно вища за ціну ВП, тому цапфи валів повинні зношуватися менше, ніж поверхня ВП [7].

При високих швидкостях та тисках застосовують високоолов'яні бабіти Б83, Б88, що допускають роботу при тисках до p = 20 МПа і pv = 75 МПа м/с. Щоб уникнути їх плавлення бабіти застосовують при температурах у роботі до 110 ^{0}C.

Аналіз роботи ПК показує, що основним фактором, що впливає на їх довговічність є руйнування бабітового покриття ВП під дією абразивних часток, які попадають переважно з мастилом (рис. 2.2). Захисту від дії абразиву можуть бути магніторідинні герметизатори (МРГ), які завдяки властивостям магнітних рідин втримують тверде тіло під дією магнітного поля і виштовхують немагнітні тіла з магнітної рідини [8].

Рисунок 2.2 - Руйнування бабітового шару покриття під дією абразивних часток

2.2. Технологічні методи зміцнення і відновлення ПК

В [15] для більш надійного зчеплення бабіту з стальною підкладкою пропонують різні варіанти, наприклад, гальванічне нарощування міддю. Також пропонується підвищення міцності зчеплення це металізація напиленням в захисному середовищі аргону. Недоліком цього методу є те, що перед металізацією поверхню на яку наносять шар покриття потрібно зробити шорсткою, що знижує втомлювальну властивість деталі.

В результаті аналізу роботи ПК в [3] запропоновано підвищити міцність зчеплення бабітового шару з стальною підкладкою (сталь 20) за рахунок формування проміжного шару з міді, який наноситься на стальну основу ВП методом електроіскрового легування (ЕІЛ). В результаті крім міцного зчеплення з поверхні тертя більш ефективно відводиться тепло.

Основними особливостями методу ЕІЛ є:

- локальність площини обробки;
- дуже міцне зчеплення матеріалів аноду (ЕІ) і катоду (ВП);
- поверхня, що легується на нагрівається і її не потрібно спеціально підготовляти.

Процес ЕІЛ розпочинається з зближення електроду інструменту (ЕІ) і поверхні деталі. Коли відстань між ними стане менш або рівною «пробивному», тоді розпочнеться розвиток електроіскрового розряду, при якому відбувається перенос певної величини речовини з ЕІ на поверхню деталі. Процес електродного заряду завершується при контакті ЕІ і поверхні ВП.

Перенесений матеріал з міді дифундує в стальну поверхню ВП і міцно з'єднується з ним. При наступному нанесенні олова, при лудінні, між оловом і міддю відбувається процес виникнення твердих розчинів заміщення, коли атоми міді заміщують атоми олова і навпаки. Наступне нанесення бабіту гарантує міцне зчепленням з шаром олова, нанесеним при лудінні.

2.3. Методика досліджень

Вплив матеріалу ЕІЛ на параметри якості покриттів визначався на установці з ручним вібратором моделі «ЕІЛВ-8А» (рис. 2.3), режими роботи якої представлені в табл. 2.1

Рисунок 2.3 – Фотографія установки моделі «ЕІЛВ-8А»

Таблиця 2.1 – Параметри установки моделі «ЕІЛВ-8А»

№ режиму	Напруга, $U_{x.x}$, В	Струм $I_р$, А	Енергія розряду, Wр, Дж

		С = 150 мкФ	С = 300 мкФ	С = 150 мкФ	С = 300 мкФ
1	16,0	0,4	1,4	0,010	0,020
2	23,0	0,5	1,6	0,020	0,0500
3	30,0	0,6	2,0	0,040	0,080
4	37,0	0,7	2,0	0,060	0,120
5	47,0	0,8	2,2	0,100	0,2000
6	57,0	0,9	2,4	0,150	0,300
7	67,0	1,0	2,7	0,200	0,400
8	77,0	1,2	2,8	0,270	0,550
9	87,0	1,3	3,5	0,340	0,680

З метою визначення впливу перехідних шарів на підвищення зчеплення бабітового шару з основою сталі 20, як в середовищі аргону, так і в повітряному середовищі піддавались зразки розміром 10х10х10 мм в вигляді поставки (170 HV). При цьому використовували 3-й, 5-й, 7-й и 9-й режими установки при С = 150 мкФ и С = 300 мкФ.

Захисний газ аргон подавався за допомогою пристрою (рис. 2.4).

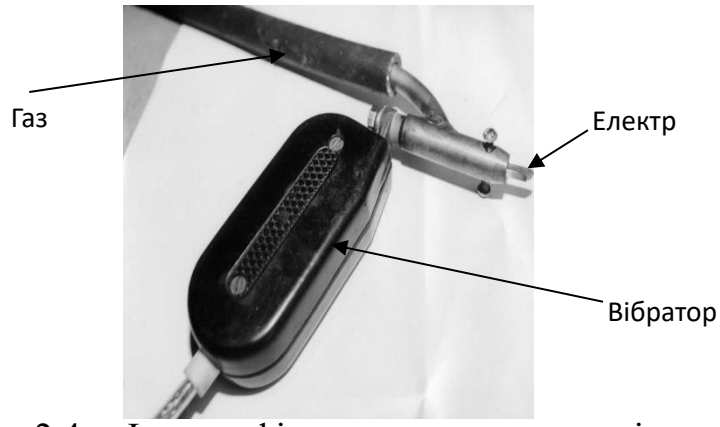


Рисунок 2.4 – Фотографія пристрою для подачі аргону

З метою визначення міцності зчеплення бабітового шару з основою зі сталі 20 відбувались іспити на зжим, згідно ГОСТу ИСО 4386-2-99. Для проведення іспитів виготовляли 4 зразка (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Серії зразків для іспитів на зжим

Матеріал зразка	Матеріал бабітового шару	
	Б88	Б83
Сталь 20	1шт.	1шт.
Сталь 20 + шар міді (ЕІЛ)	1шт.	1шт.

Пристосування для проведення іспитів на міцність з’єднання бабітового шару і основи представлені на рис. 2.5, а розміри для виготовлення зразків з циліндричних втулок на рис. 2.6.

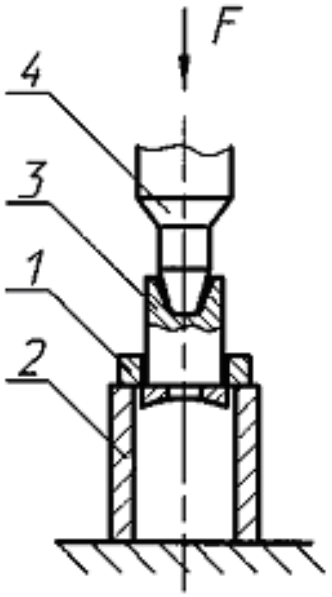


Рисунок 2.5 – Вигляд пристосування для іспитів зразків на зжим: 1 - дослідний зразок; 2 – упорна втулка; 3 – пуансон; 4 - товкач

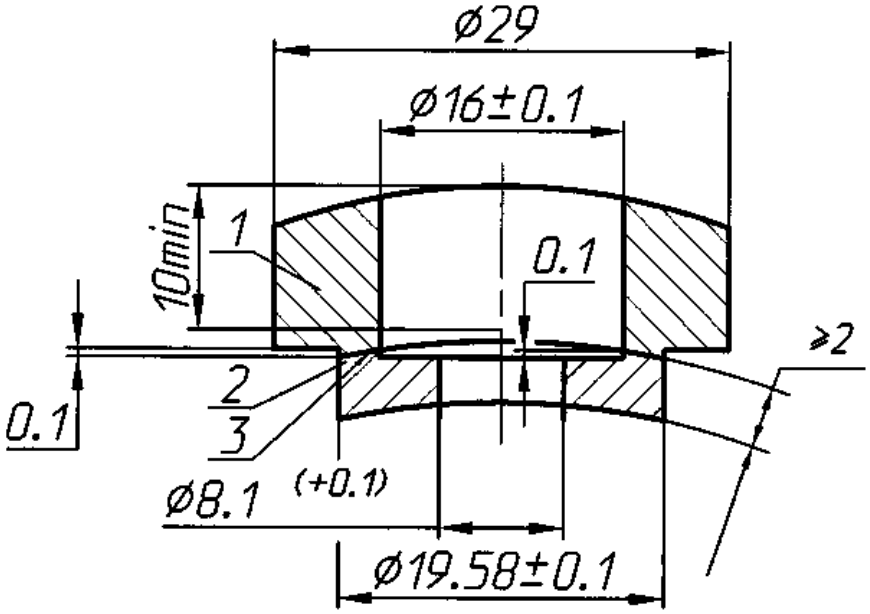


Рисунок 2.6 – Розміри зразку для іспитів на міцність з'єднання бабітового шару і основи

2.4. Результати порівняльних іспитів

Спротив втомі бабітового антифрикційного шару вкладишу ПК в великому ступеню залежить від властивостей з'єднання з основою зі сталі 20.

Результати проведення порівняльних іспитів на міцність з'єднання зведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати іспитів на міцність з'єднання бабітового шару і основи вкладишу ПК

Матеріал основи і антифрикційного шару	Максимальне навантаження до руйнування , Н	Площа поверхні з'єднання, мм^2	Міцність з'єднання, Н/ мм^2	Характер руйнування
Сталь 20 – Б83	2000 2200	100	20 22	Розрив по бабітовому шару
Сталь 20 – Б88	2200 2200	100	22 22	Таке саме

Сталь 20+мідь (ЕІЛ) -Б83	3000 2500	100	30 25	Таке саме
Сталь 20+мідь (ЕІЛ) -Б88	3600 2500	100	36 25	Таке саме

В результаті аналізу таблиці 2.3 встановлено, що використання перехідного шару між бабітовим шаром і стальною основою вкладишу ПК підвищує міцність з'єднання на 35%.

2.5. Висновки:

1. В результаті аналізу роботи ПК запропоновано підвищити міцність зчеплення бабітового шару з стальною підкладкою зі сталі сталь 20 шляхом формування проміжного шару з міді, який наноситься на стальну основу ВП методом електроіскрового легування.
2. Формування перехідного шару між бабітовим шаром і стальною основою вкладишу ПК підвищує міцність з'єднання на 35%.

ОХОРОНА ПРАЦІ

ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО КОМПРЕСОРА

3.1. Керівництво з техніки безпеки промислового повітряного компресора

Промислові повітряні компресори є надійним джерелом стисненого повітря для живлення пневматичних інструментів, обладнання та процесів. Однак використання повітряних компресорів також створює потенційні ризики для безпеки, включаючи небезпеку високого тиску, небезпеку електричного струму та проблеми з якістю повітря. Щоб забезпечити безпечне робоче середовище та запобігти нещасним випадкам, для промислових підприємств вкрай важливо впроваджувати комплексні інструкції з безпеки повітряних компресорів і передовий досвід.

3.2. Розуміння основ повітряного компресора

Перш ніж вивчати інструкції з безпеки повітряних компресорів, важливо мати базове розуміння того, як повітряні компресори працюють і потенційні ризики, пов’язані з їх використанням. У промисловості використовуються два основних типи повітряних компресорів: об’ємні та динамічні.

Об'ємні компресори

Ці компресори працюють, захоплюючи фіксований об’єм повітря та зменшуючи його об’єм для підвищення тиску. Існує два типи об’ємних компресорів – поршневі та гвинтові. Перший використовує поршень для стиснення повітря в циліндрі, подібно до роботи двигуна внутрішнього згоряння, тоді як останній використовує два взаємодіючі ротори для безперервного стиснення повітря.

Динамічні компресори

У цих компресорах використовуються високошвидкісні робочі колеса або лопаті для надання швидкості повітрю, яке потім перетворюється на тиск. Два основних типи динамічних компресорів - це відцентрові та осьові компресори. Відцентрові типи використовують обертове робоче колесо для прискорення повітря, яке потім сповільнюється в дифузорі для створення тиску. З іншого боку, осьові компресори використовують серію обертових лопатей для прискорення повітря, подібно до реактивного двигуна.

Незалежно від типу, усі повітряні компресори працюють за однаковим основним принципом: вони стискають повітря, зменшуючи його об’єм, що збільшує його тиск. Потім стиснене повітря зберігається в резервуарі або ресивері, поки воно не знадобиться. Коли тиск у резервуарі падає нижче заданого рівня, компресор автоматично починає поповнювати запас повітря.

3.3. Загальні небезпеки та ризики

Небезпека високого тиску: Повітряні компресори генерують повітря під високим тиском, яке може спричинити серйозні травми, якщо з ними поводитись неправильно. Ризики включають розриви, вибухи та високошвидкісні снаряди від пошкоджених або від'єднаних компонентів.

Електричні небезпеки: багато промислових повітряних компресорів працюють від електрики, що створює такі ризики, як ураження електричним струмом, спалах дуги та небезпека пожежі, особливо під час встановлення повітряного компресора , технічного обслуговування чи ремонту.

Небезпека для якості повітря: стиснене повітря може містити забруднювачі, такі як пил, волога та мастильні матеріали, які можуть становити небезпеку для дихання при вдиханні. Стиснене повітря, яке використовується для дихання або очищення, також має відповідати суворим стандартам якості повітря, щоб запобігти проблемам зі здоров'ям.

Небезпека шуму: Повітряні компресори можуть створювати високий рівень шуму, що потенційно може пошкодити слух операторів і персоналу, що знаходиться поруч, якщо не використовувати належний захист органів слуху.

Небезпека спіткнутися та впасти: погано керовані повітряні шланги та кабелі можуть створити небезпеку спіткнутися, тоді як слизькі поверхні через витік масла або вологи можуть збільшити ризик падінь.

Розуміння поширених небезпек безпеки повітряного компресора є першим кроком у розробці ефективних протоколів безпеки та навчальних програм для промислових об'єктів.

3.4. Заходи безпеки перед використанням повітряного компресора

Щоб звести до мінімуму ризики, пов'язані з використанням повітряного компресора, на промислових підприємствах перед початком експлуатації обладнання слід вжити ряд заходів безпеки:

Навчання та освіта. Весь персонал, який бере участь в експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті повітряних компресорів , повинен пройти повну підготовку щодо інструкцій з техніки безпеки повітряних компресорів, включаючи визначення небезпек, належні робочі процедури та протоколи реагування на надзвичайні ситуації.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): Оператори та обслуговуючий персонал повинні бути забезпечені відповідними ЗІЗ, такими як захисні окуляри, засоби захисту органів слуху, черевики зі сталевими носками та рукавички, щоб захистити від потенційної небезпеки.

Перевірка та технічне обслуговування: перед кожним використанням повітряні компресори слід візуально перевірити на наявність пошкоджень, витоків або зносу. Регулярне технічне обслуговування, наприклад заміна фільтрів, змащування рухомих частин і перевірка запобіжних пристроїв, слід виконувати відповідно до рекомендацій виробника.

Правильне встановлення та заземлення: Компресори слід встановлювати в добре провітрюваному приміщенні, подалі від легкозаймистих матеріалів і джерел тепла. Електричні з’єднання повинні бути належним чином заземлені та встановлені кваліфікованим електриком, щоб запобігти небезпеці ураження електричним струмом.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ КОМПРЕСОРІВ

4.1. Нормування робіт по нанесенню проміжного шару з міді, методом ЕІЛ, на поверхню стального вкладишу підшипника (ВП) ковзання відцентрового компресора (ВК)

Матеріали та обладнання для ЕІЛ стальних поверхонь ВК зведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка потрібних матеріалів та обладнання для ЕІЛ ВП

Обладнання та матеріали	Ціна, тис. грн
Пристрій «Елітрон – 22А»	40.000
Мідь	0,750

4.2. Розрахунок собівартості ЕІЛ вкладишів підшипників

Собівартість виготовлення 1 ВП без покриття

$С_{баз}$ = 160 грн.

Термін роботи 1 ВП складає

$Т_{баз}$ = 2,0 р.

Собівартість затрат для ЕІЛ на 1 комплект ВП складає:

$С_{мат}$ = 15,0 грн.

Таким чином повна собівартість виготовлення ВП буде:

$С_{нов} = С_{баз} + С_{мат} = 160+15=175$ грн (4.1)

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

$Т_{нов} = Т_{баз}$ х 2 = 2,0 х 2,5 = 5,0 років. (4.2)

Розрахунок економічної ефективності технології підвищення довговічності ПК відцентрових компресорів

$Е = С_{баз} : Т_{баз} – С_{нов} : Т_{нов} = 160 : 2,0 – 175 : 5 = 45,0$ грн (4.3)

Розрахунок окупності капітальних вкладень

Окупність капітальних вкладень (Фок) можна визнати наступним чином

$Фок = С_{об} : Е = 40\ 000 : 45,0 =$ 890 шт., (4.4)

де $С_{об}$ = 40000 грн (див. табл. 4.1)

Згідно того, що два працівника за добу роблять приблизно 50 комплектів ПК, то добова (Тдоб) окупність буде:

Тдоб = Фок: 50 = 890: 50 ~ 18 діб.

Таким чином, економічна ефективність розробки складає 45,0 грн на 1 ПК, а добова окупність близько 18 діб.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1. Проаналізовані умови роботи ВК і основні причини проблем, пов'язаних з їх використанням.

2. Нормальна експлуатація ВК в значній ступені залежить від надійності і довговічності їх підшипників ковзання.

3. В результаті аналізу роботи ПК запропоновано підвищити міцність зчеплення бабітового шару з стальною підкладкою зі сталі сталь 20 шляхом формування проміжного шару з міді, який наноситься на стальну основу ВП методом електроіскрового легування.

4. Формування перехідного шару між бабітовим шаром і стальною основою вкладишу ПК підвищує міцність з'єднання на 35%.

5. Економічна ефективність технології підвищення довговічності підшипників ковзання відцентрових компресорів складає 45,0 грн на підшипник, а добова окупність обладнання близько 18 діб.

6. Результати проведених досліджень опубліковані в двох наукових роботах (додаток Б).

Література:

1. Vibration monitoring on a centrifugal compressor: https://www.istec.com/vibration-monitoring-on-a-centrifugal-compressor/
2. Centrifugal Compressors https://www.fs-elliott.com/centrifugal-compressors

3. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Антошевский Б. Підвищення якості підшипників ковзання: Монографія.- Суми: Видавництво „Мак” 2006.- 233 с. з іл.

4. Решетов Д.М. Деталі машин: 4-те вид., перероб. та дод. Машинобудування, 1989. - 496 с.

5. Воронков Б.Д. Підшипники сухого тертя: Машинобудування, 1979. - 223 с.

6. Проблеми безпечної експлуатації компресорного та насосного обладнання в сучасній промисловості: монографія/ В.С. Марцинковський, В. Б. Тарельник, та ін.; за ред. В. Б. Тарельника, Є.В.Коноплянченка. - Суми: Видавництво «ФЛП Літовченко Е.Б.», 2020.- 434с.- Українською мовою.

7. Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Антошевский Б. Комбінована технологія зміцнення та ремонту підшипникових шийок роторів // Компресорна техніка та пневматика 2004. - №8. - С.31-36.

8. Радіонов А.В., Виноградов О.М. Аналіз досвіду застосування магніторідинних герметизаторів на хімічних та нафтопереробних підприємствах // Праці 1Х Міжнародної науково-технічної конференції «Герметичність, вібронадійність та екологічна безпека насосного та компресорного обладнання» - «ГЕРВІКОН – 99», Т. 1, Суми, 1994-. -249.

9. Гаркунов Д. Н. Триботехніка: Машинобудування, 2001. - 327 с.

ДОДАТКИ