

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

П О Я С Н Ю В А Л Ь Н А З А П И С К А

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
ВІДЦЕНТРОВИХ ЗАГЛИБНИХ НАСОСІВ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-1-21
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Литвиненко Сергій Петрович

Керівник: _____ Толстенко Олександр Васильович

Рецензент: _____

Дніпро 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н. ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

”___” _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Литвиненка Сергія Петровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування методів підвищення довговічності відцентрових заглибних насосів

Керівник роботи к.т.н, доц. Толстенко О.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 18 ” жовтня 2022 року № 3008

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2022

3. Вихідні дані до роботи Типи насосного обладнання та їх характеристики, відмови та пошкодження деталей насосного обладнання. Способи відновлення деталей насосного обладнання та можливість їх застосування в умовах сервісних центрів. Вплив струму на характеристику матеріалу та його структуру. Економічні показники роботи підприємства. Стан безпеки та охорони праці у сервісному центрі

4.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітичний розділ. 2. Дослідження шляхів підвищення довговічності деталей насосів. 3. Експериментальна частина. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка роботи. Висновки по роботі. Бібліографія. Додатки

РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена пошуку шляхів підвищення довговічності відцентрових заглибних насосів які використовуються майже у всіх сферах народного господарства, стосовно сільського господарства то це напування тварин, подача води у майстерні та на виробництво, а особливо це актуально сьогодні коли існують перебої з централізованим водопостачанням або водопостачанням у місцях далеких від водогонів.

Робота складається з таких розділів, як аналітичний в якому наведено аналіз стану питання надійності насосного обладнання та пошуку можливих шляхів їх підвищення. Теоретичний розділ присвячено розробці взаємозв'язків між довговічністю насосного колеса та структурою матеріалу з якого воно виготовлено, а також розрахунку кавітаційного впливу на метал.

У експериментальному розділі проведено дослідження процесу хіміко-термічної обробки (борирування) та її впливу на довговічність робочих коліс насосу.

Розглянуто питання охорони праці та проведено економічну оцінку роботи.

Робота містить ПЗ об'ємом 85 ст. та 12 аркушів демонстраційного матеріалу.

Ключові слова: НАСОС, ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС, РОБОЧЕ КОЛЕСО, ЗНОС, КАВІТАЦІЯ, ДОВГОВІЧНІСТЬ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. Аналіз робіт за темою та постановка завдань досліджень.....	10
1.1. Загальна характеристика дилерсько-сервісного центра ПП Водограй	10
1.2. Будова та принцип дії об'єкту дослідження.....	14
1.3. Можливі відмови та поломки відцентрових заглибних насосів	17
1.4. Висновки по огляду	25
2. технології відновлення та зміцнення деталей насосних агрегатів, що найчастіше виходять з ладу.....	27
2.1. Вплив кавітації на роботу деталей насосу	27
2.2. Вивчення можливості збільшення довговічності агрегатів на основі аналізу рівнів зношування деталей і вузлів агрегатів	33
2.3. Аналіз роботи заглибних відцентрових насосів з робочими колесами виконаними з поліаміду, нерезиста та чавуну	34
2.4. Аналіз методів поверхневого зміцнення матеріалів з метою вибору оптимального розв'язку для робочих коліс	38
2.5. Висновки по розділу	47
3. Методика та результати експериментальних досліджень	48
3.1. Фрактографічний аналіз зламу диска робочого колеса	48
3.2. Визначення механічних властивостей металу робочого колеса після експлуатації за результатами вимірів твердості	49
3.3. Розрахунки напружено-деформованого стану робочого колеса	51
3.4. Розрахунки втомної довговічності робочого колеса.....	54
3.5. Відпрацювання технології поверхневого зміцнення робочих коліс Борируванням по методу хіміко-термічної обробки (ХТО).....	61

3.6. Висновок по розділу	69
4. Охорона праці.....	71
4.1. Стан та організація охорони праці у сервісному центрі.....	71
4.2. Вплив на навколишнє середовище термічної обробки та методи по забезпеченню їх мінімального впливу.....	72
4.3. Заходи по безпечній роботі на дільниці	73
4.4. Висновок	76
5. Економічна оцінка магістерської роботи	77
Загальні висновки	83
Бібліографія	85

ВСТУП

Відцентрові насосні агрегати (ВНА) є одним з основних видів машин, призначених для перекачування різного роду рідин. Така ситуація обумовлена їхніми істотними перевагами над іншими типами насосів. У першу чергу слід зазначити рівномірність і широкі границі регулювання витрати при відносно високому коефіцієнт корисної дії, можливість безпосереднього з'єднання з високошвидкісними електродвигунами й газовими турбінами, невеликі габаритні розміри й вага [1, 2, 3, 4, 5].

Як відомо з робіт в області прогнозування ресурсу й надійності машин, безаварійна робота насосного агрегату в значній мірі залежить не тільки від правильного вибору й забезпечення основних конструкторських розв'язків при проектуванні й виготовленні, але й від умов експлуатації. При цьому нестационарний режим експлуатації насосних агрегатів може бути пов'язаний з нестабільним завантаженням по сировині технологічних установок [6, 7].

Однієї з основних проблем надійності виробів і механізмів є попередження поломок внаслідок дії періодично повторюваних навантажень, що викликають явище втоми металу. Статистичні дослідження показують, що близько 90 % усіх руйнувань елементів конструкцій і деталей машин у промисловості й на транспорті відбувається в результаті дії повторно-змінних навантажень. Вивченню природи втомних руйнувань і методів розрахунків втомної довговічності деталей машин присвячені роботи [5-8].

У процесі експлуатації ВНА на підприємствах коливання режиму роботи неминуче, що спричиняє зміна гідродинаміки потоку рідини, що виявляє інтенсивний динамічний вплив на деталі його проточної частини, головним чином, на робоче колесо. Ушкодження робочих коліс насосних агрегатів, як правило, виявляються під час планових ремонтів, за винятком аварійних зупинок. В існуючих методиках проведення міцнісних розрахунків робочих коліс насосних агрегатів не враховується вплив гідродинамічних процесів проточної частини,

вивченню яких присвячені дослідження багатьох вітчизняних і закордонних авторів [6-9].

У зв'язку з тим, що раптове руйнування робочого колеса може привести до аварійної зупинки насосного агрегату й викликати додаткові ушкодження пов'язаного з ним технологічного встаткування, визначення часу наробітку на відмову робочих коліс представляє безсумнівну актуальність [8, 9].

Мета роботи: розробка алгоритму оцінки часу напрацюванні на відмову робочих коліс ВНА з урахуванням параметрів режиму експлуатації й властивостей рідини яка перекачується, та розробка заходів з підвищення довговічності робочих коліс відцентрових заглибних насосів до і після проведення сервісних робіт.

Завдання дослідження:

1. Аналіз призначення й технічних характеристик та аналіз несправностей насосних агрегатів та збір статистичних даних по відмовам насосів.

2. Проведення мікроструктурного аналізу, фрактографічних досліджень зламів дисків робочих коліс, визначення механічних властивостей матеріалу робочих коліс, у тому числі границі витривалості й параметрів кривої втоми сталі та чавуну після їх оброблення способом борирування.

3. Аналіз зміни напруженого стану й визначення параметрів циклу зміни напруг робочих коліс ВНА при нестационарному режимі навантаження в процесі експлуатації за результатами розрахунків.

4. Порівняння розрахункової й експлуатаційної довговічності робочих коліс.

7. Розробка заходів по охороні праці.

8. Техніко-економічна оцінка роботи.

Публікації. За результатами роботи надруковано статтю: Литвиненко С.П. Шляхи підвищення післяремонтної надійності гільз циліндрів автотракторних двигунів / Литвиненко С.П. Матеріали науково-практичної конференції. ДДАЕУ. Дніпро. 2022 – С. 38-40.

1. АНАЛІЗ РОБІТ ЗА ТЕМОМОЮ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Загальна характеристика дилерсько-сервісного центра ПП Водограй

Діяльність підприємства розпочиналась в 2004 році з м. Марганець де підприємцем Дроновим Олександром Павловичем було організовано ремонту майстерню, яка займалась продажем та ремонтом насосного обладнання призначеного для перекачування води. Під час роботи підприємство зтикнулось з тим, що в Дніпропетровській області майже відсутні авторизовані сервісні центри з обслуговування насосного обладнання.

І в 2006 році Дронов О.П. з односторонцем і своїм науковим керівником з м. Дніпропетровськ к.т.н. Швидько П.В. засновують сервісний центр "Водограй", який виконував ремонти насосного обладнання таких марок як: "SPRUT", "НАСОСЫ+", "LIDER", "EVROAQVA". Закінчивши аспірантуру в Дніпропетровському гірничому університеті Дронов О.П. привніс у розвиток сервісного центру науковий підхід. І центр почав виконувати складні ремонтні роботи, такі як перемотування свердловинних насосних двигунів (даний вид робіт виконувався тільки заводами виробниками).

Пройшовши стажування в м. Харкові на заводі і заключивши договір про співпрацю СЦ "Водограй" стає авторизованим сервісним центром. На той час підприємство мало два сервісні центри в м. Дніпропетровськ (лівобережний і правобережний), торгове місце на Курчатівському ринку та ремонтну майстерню в м. Марганець. Стрімкий розвиток підприємства був здійснений завдяки підприємцю Швидько П.В. який володів потужною компанією "Югруда" і зробив значні капіталовкладення в формування сервісного центру.

На сьогодні сервісний центр «Водограй» є відокремленим підрозділом Харківського заводу насосного обладнання "Варна".

Сервісний центр "Водограй" пропонує послуги із продажу, обслуговуванню й ремонту насосного встаткування. Підприємство є авторизованим сервісним

центром, який виконує гарантійні ремонтні роботи насосного встаткування торговельних марок: "SPRUT", "НАСОСИ+УСТАТКУВАННЯ", "ДЕЛЬФІН", "EVROAQVA", а також післягарантійне обслуговування ТМ "PEDROLLO", "WILO", "GRUNDFOS", "SPERONI", "WATOMO", "ЕВАРА", "DAB", "ZENIT", "GARDENA" і ін. марок. Так само виконується перемотування однофазних і трифазних електродвигунів. Здійснює поставку й обслуговування промислового насосного встаткування (ТМ "VARNA") різної потужності й продуктивності [2].

Підприємство організувало такий напрямок роботи як буріння свердловин. Було закуплено три автомобілі газель та оснащені буровим мобільним обладнанням.

На базі підприємства проводяться семінари та навчання.



Рис. 1.1. Клас для навчання та проведення семінарів.

На пустуючих територіях сервісного центру організовано мийку та шиномонтаж.



Рис. 1.2. Розташування офісу, сервісного центру та СТО



Рис.1.3. Сервісний центр.

Підприємство має опорні пункти та торгові точки які розташовані в м. Дніпропетровську та в таких містах як м. Марганець, м. Запоріжжя.

За останні 3 роки підприємство почало освоювати продаж та монтаж електропродукції та систем кондиціонування повітря.

Підприємство має два крупних офіси які займаються роботою з клієнтами, проектно-монтажними роботами, торгівлею та наданням консультацій, що до використання продукції компанії.

Центральний офіс обслуговує правий берег, а також займається закупівлею продукції та укладанням договорів з постачальниками. Другий офіс розташовано на лівому березі і він обслуговує замовлення лівої сторони Дніпра.

Центральний офіс знаходиться за адресою:

49000, м. Дніпропетровськ, вул. Десантників 1а оф. 80.

Лівобережний філіал знаходиться за адресою:

49051 м. Дніпропетровськ вул. Богдана Хмельницького 14 оф. 8.

Як зазначалось раніше підприємство освоїло продаж електрообладнання і є також офіційним дилером ТМ "Світлові технології", ИЕК, ДКС. Також здійснює поставки повного переліку електротехнічної продукції, а також її монтаж.

Таблиця 1.1-Перелік продукції компанії

Назва товару	Одиниці виміру	Виробник
Системи кабельних каналів	В залежності від обсягу	DKS
Автоматика, НВО,	шт	Україна, Китай
Світлотехніка	шт	Україна
КПП	км	Україна
Фурнітура	шт	Франція, Італія, Китай, Германія.
Електротехнічна продукція	шт, м, км.	Schinder electric, Moeller, ABB, ОВО Bettermann
Системи інтелектуальної автоматизації	шт	Германія, Франція, Італія.

На дванадцятому кварталі також є орендована територія складських приміщень де зберігається продукція та власна територія яка використовується як автобаза. На автобазі знаходиться автопарк який складається з 55 автомобілів ГАЗ

3302/33023/2705/2217 (газель), власне СТО, має мийку, та малярний цех для автомобілів. Автопарк надає такі послуги:

Крім автомобілів ГАЗ на підприємстві є КамАЗ – 10, МАЗ-5, Мерседес Бенц-8. Великовантажні автомобілі закріплені за лівобережним філіалом і зберігаються на промисловій зоні компанії на виїзді з м. Дніпро.

В нашій роботі ми розглянемо безпосередньо сервісний центр на базі якого виконується обслуговування та сервіс насосного обладнання, також статистична інформація зібрана з даного сервісного центра та підприємств виробників дилером яких є сервісний центр.

1.2. Будова та принцип дії об'єкту дослідження

Заглибні насоси бувають чотирьох типів (рис. 1.4):

- ті, що працюють за рахунок вібрації;
- робочим органом є шнек;
- робочим органом є вихрове колесо;
- ті, що працюють за рахунок відцентрових сил.



Рис. 1.4. Типи заглибних насосів

Об'єктом дослідження являються відцентрові заглибні насоси (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Відцентровий заглибний насос

Сфера застосування заглибних насосів це подача води як до осель звичайних споживачів так і для водо забезпечення тваринницьких комплексів, ферм, підприємств власною водою. Головна вимога – вода зі повинна відповідати санітарним нормам.

Заглибні відцентрові насоси призначені для підйому води із глибинних шахтних колодязів і свердловин, що містить не більш 0,001% механічних домішок.

Будова (рис.1.6, а): установка із заглибним насосом 7 складається з електродвигуна 9, водопідйомної труби 6, пульта керування 3, кабелю 5 для живлення електродвигуна, заглибленого під динамічний рівень води свердловини не менш 1...1,5 м.

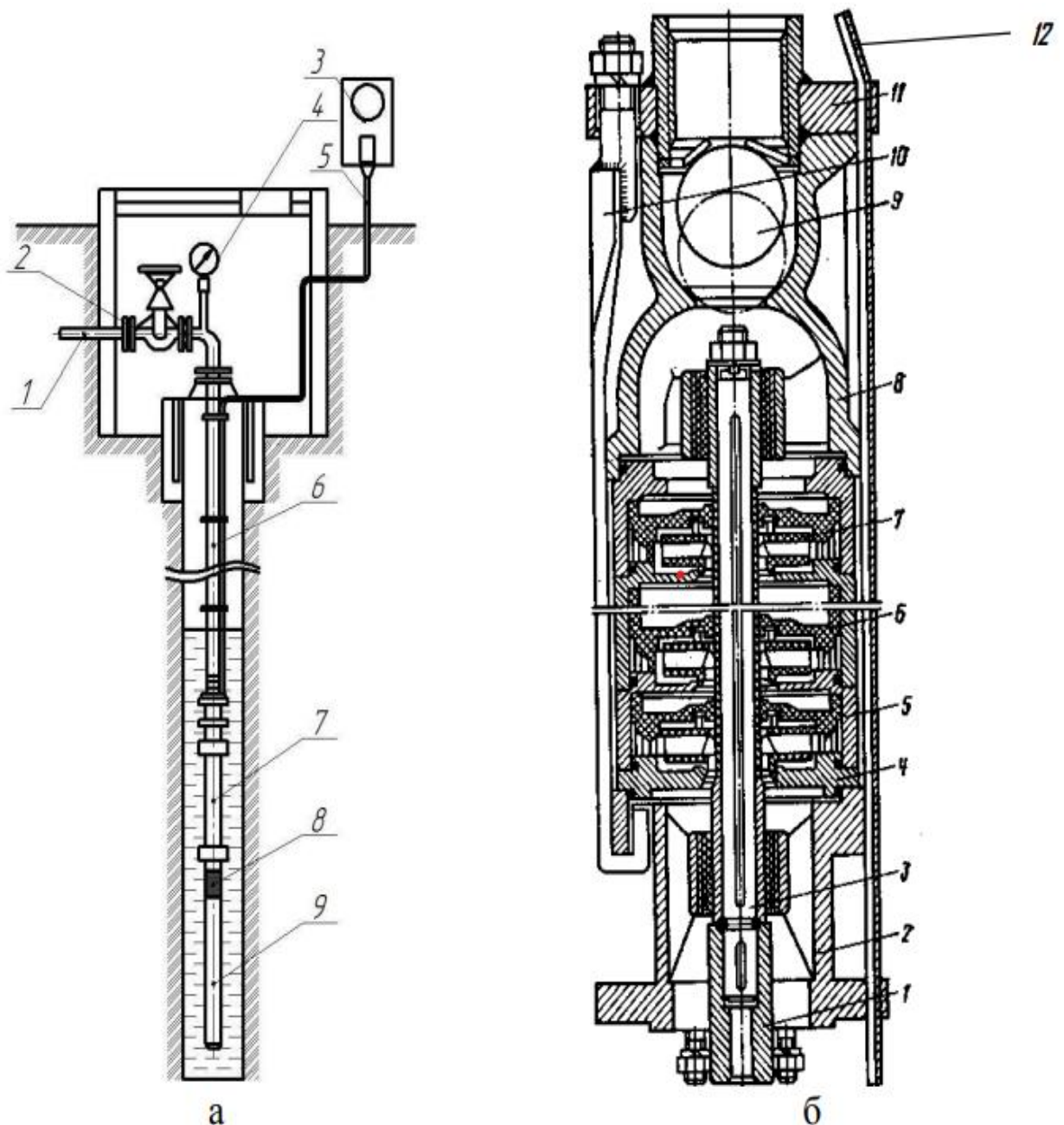


Рис. 1.6 – Установка з заглибним насосом:

а – схема установки заглибного насоса: 1 – зовнішній водовід; 2 – засувка; 3 – пульт керування; 4 – манометр; 5 – кабель; 6 – водопідйомна труба; 7 – насос; 8 – прийомні вікна із сіткою; 9 – електродвигун

б – розріз заглибного насоса: 1 – муфта; 2 – маточина основна; 3 – вал; 4 – диск; 5 – обойма; 6 – робоче колесо; 7 – напрямний апарат; 8 – маточина підшипника; 9 – клапан; 10 – стяжка; 11 – сполучний фланець; 12 – напірний патрубок

Багатоступінчастий насос (рис.1.6, б) змонтовано на одному валу 3 з асинхронним електродвигуном. Насосна частина збирається з окремих секцій, що полягають із корпусу з напрямним апаратом 7, виготовлених із чавуну або пластмаси. Вода надходить у насос через вікна, закриті металевою сіткою 8 (рис. 1.6,а), яка охороняє робочі органи насоса від великих твердих часток. У напірному патрубку 12 (рис. 1.6,б) є кульовий зворотний клапан 9, а також зливальний отвір. Клапан призначений для захисту насоса від гідроудару в напірному трубопроводі, а зливальний отвір служить для випуску води з напірного трубопроводу назад у свердловину під час зупинки насоса, завдяки чому полегшує навантаження на електродвигун у момент його нового пуску.

Принцип дії заглибного насоса (рис.1.6,б): при включенні електродвигуна приводиться в обертання його вал і відповідно вал насоса із закріпленими на ньому робочими колесами. Під дією відцентрової сили вода викидається на периферію. При цьому в центрі робочого колеса б створюється розрідження, за рахунок якого вода зі свердловини надходить до першого (самого нижнього) робочого колеса. Це колесо передає воду по каналах напрямного апарата до входу наступної секції. Таким чином, вода, пройшовши послідовно всі секції насоса, на виході має напір.

1.3. Можливі відмови та поломки відцентрових заглибних насосів

За своєю конструкцією заглибний відцентровий насос не можна назвати складним але в його склад входить багато деталей які під час роботи виходять з ладу. Поломки насосів можна розділити на чотири категорії:

- забруднення;
- механічні ушкодження;
- шум, перегрів та вібрації;
- відмови електричної частини.

Розподіл відмов наведено на рис. 1.7.

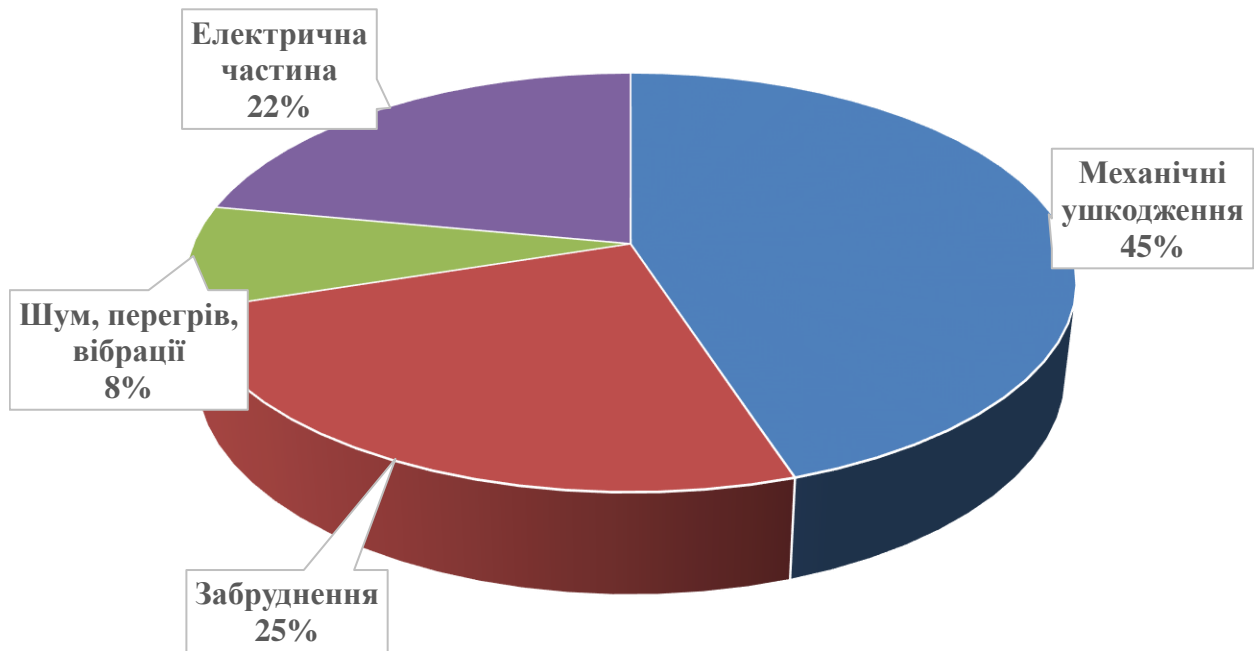


Рис. 1.7. Розподіл відмов відцентрових заглибних насосів

Усунення вапнування й засмічень

Якщо насос не качає воду зі свердловини, то причин може бути кілька. Найбільш часті несправності заглибного насоса це замулення, засмічення й вапняний наліт рис. 1.8.

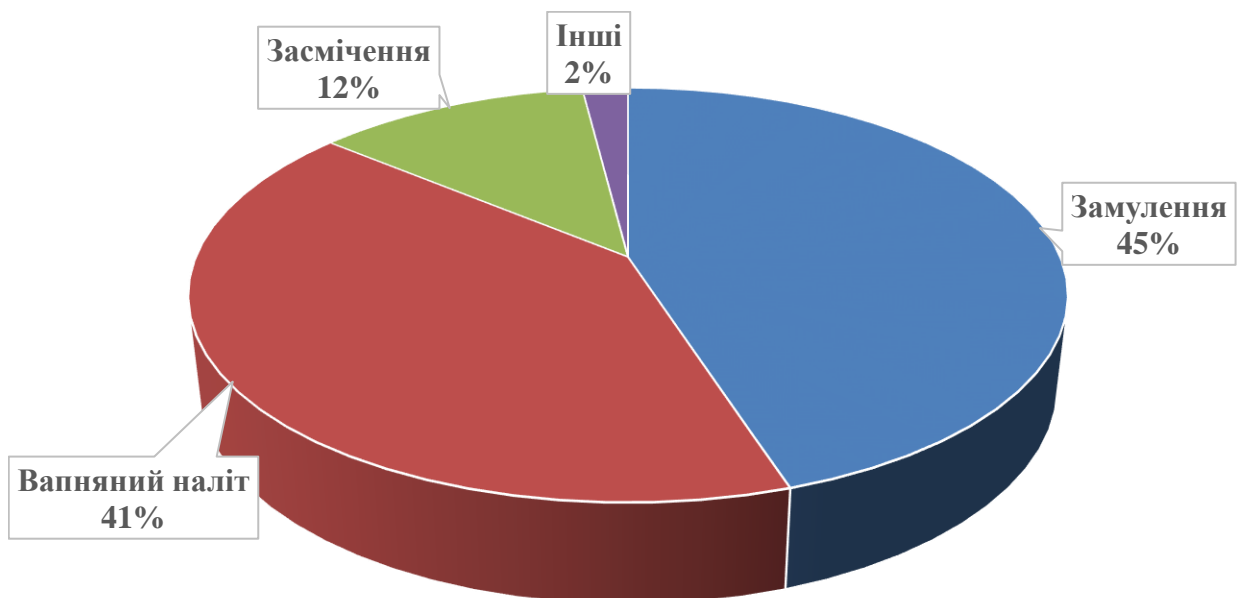


Рис. 1.8. Розподіл відмов в наслідок забруднень



Рис. 1.9. Засмічення та вапнування насосу

Вапнування корпусу та робочих органів насосу відбувається внаслідок перекачування води насиченою калієм і магнієм.

Замулювання корпусу насоса відбувається, якщо встаткування працює не щодня, а з більшими інтервалами, то пісок буде ущільнюватися й призведе до заклинювання робочого колеса й двигуна.

Ще одним варіантом розв'язку проблеми замулювання може бути заміна поточного свердловинного насоса з нижнім розташуванням усмоктувального патрубка на моделі, у яких усмоктувальні вікна розташовані у верхній частині корпусу, наприклад гвинтові насоси.

Механічні ушкодження

Механічні несправності (рис. 1.10) рано або пізно неодмінно з'являються в кожному працюючому агрегаті. Поломка однієї з деталей може стати причиною, у зв'язку з якою не качає глибинний насос.

Механічні несправності як правило це гідро абразивний знос, кавітація, поломки деталей внаслідок перевантаження або втоми металу чи полімеру, корозія та інші.

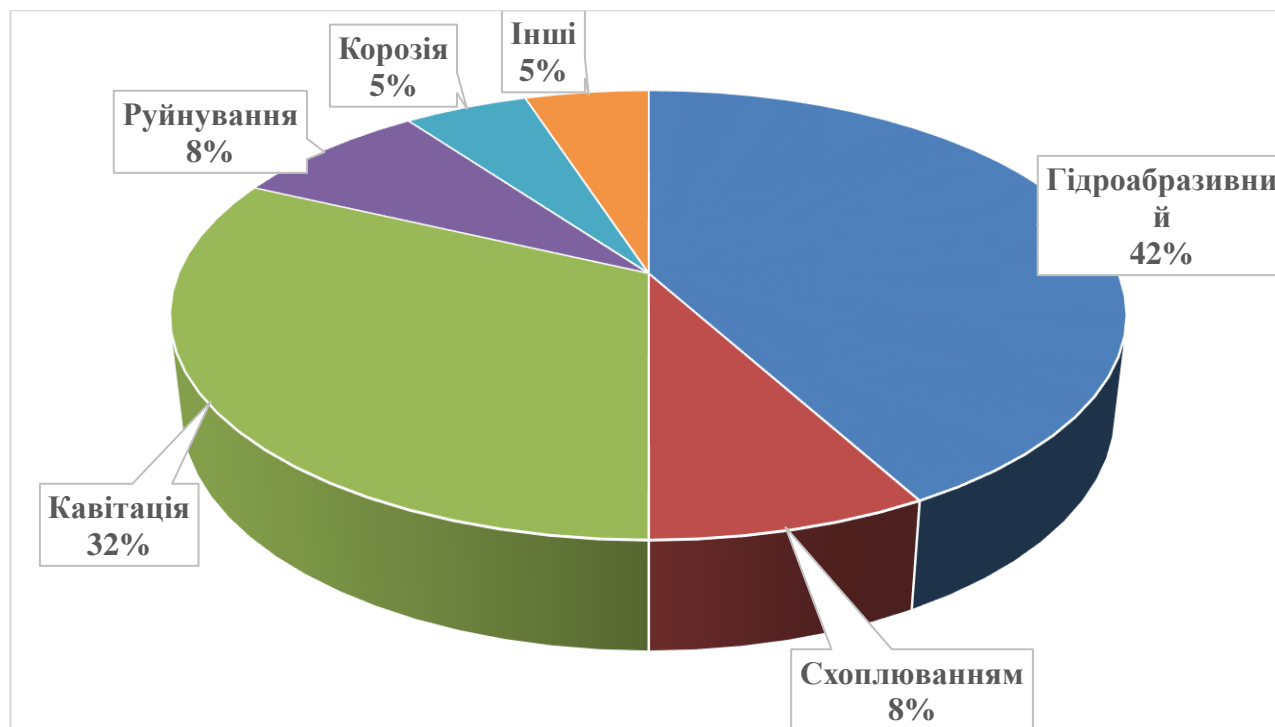


Рис. 1.10. Розподіл механічних відмов



Рис. 1.11. Кавітаційні, корозійні та ерозійні руйнування робочих коліс



Гідроабразивний знос робочого колеса



Абразивний знос посадкових місць

Рис. 1.12. Види механічного зносу деталей

Насос шумить, вібрує та перегрівається (рис. 1.13)

Коли заглибне встаткування шумить, сильно гріється або вібрує в свердловині, але воду не качає, або вона тече невеликим струмком причин поломки може бути небагато, наприклад.

Сильний шум, коли насос голосно гуде при роботі говорить про зношування або засмічення робочого колеса, засміченні механічного фільтра або ослаблення кріплень у деталях корпусу.

У випадку появи сторонніх звуків у роботі встаткування необхідно негайно виконати зовнішній огляд.

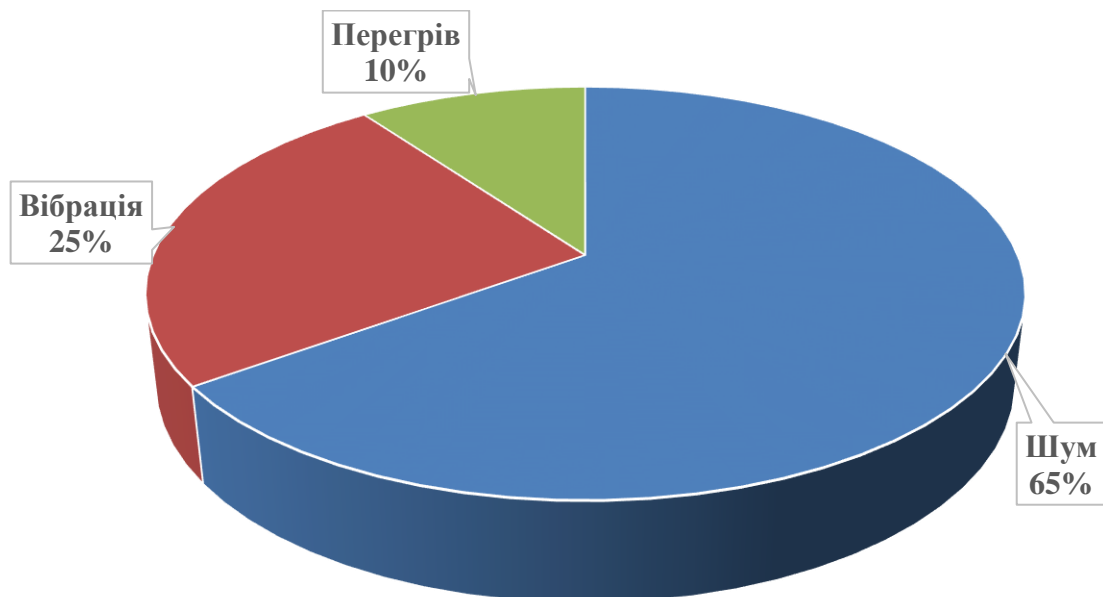


Рис. 1.13. відмови насосу

Електричні несправності (рис. 1.14)

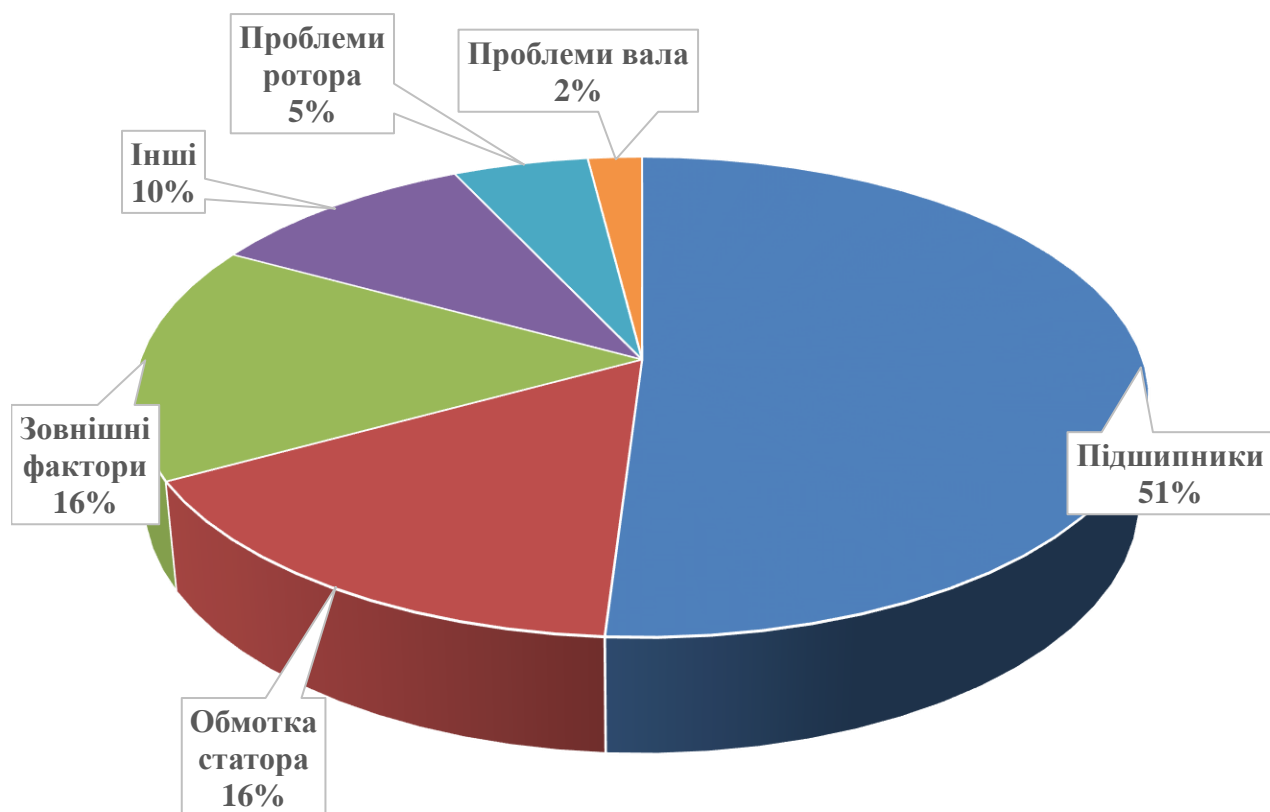


Рис. 1.14. Відмови електричної частини насоса

При виникненні електричних несправностей насос, як правило, не включається. У першу чергу оглянете живильний кабель на наявність ушкоджень і розривів. При їхнім виявленні зробіть заміну кабелю.





Рис. 1.14. Відмови електричної частини насосу

Якщо вибиває пробки при роботі насоса, то причиною цього може бути коротке замикання обмотки статора, ушкодження електрокабеля, заклинювання робочого колеса, низька напруга в електричній мережі.

1.4. Висновки по огляду

Основним видом зношування деталей насосів є механічне зношування, як результат абразивного впливу твердих часток, що перебувають у свердловинній рідині. Поряд з механічним зношуванням, деталі насосів піддаються корозійно-механічному та втомному зношуванню.

Аналіз роботи ВЗН і її основних частин показав, що у насосах найбільш часто відмовляють: розчленовування з'єднання із фланця «нижня секція і верхня секція насоса»; по з'єднанню із фланця «середня секція й верхня секція насоса» по «0» патрубкові, по підвісному патрубкові й по шийці газосепаратора; злам газосепаратора по тілу; злам насосно-компресорних труб (НКТ) по різьбленню, тілі

й муфті.

2. ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ, ЩО НАЙЧАСТІШЕ ВИХОДЯТЬ З ЛАДУ

2.1. Вплив кавітації на роботу деталей насосу

Кавітація - це порушення цілісності потоку рідини, викликане появою бульбашок або порожнин, заповнених паром або газом. Виникає кавітація, коли абсолютний тиск у потоці падає до тиску насичених пар рідини при даній температурі. При цьому з рідини інтенсивно виділяються пухирці, заповнені парами рідини й розчиненими в ній газами (рідина закипає). Звичайне виділення газу з рідини незначно й не виявляє істотного впливу на технічні параметри роботи насосів, тому кавітацію називають паровий. Надалі під терміном кавітація будемо мати на увазі парову кавітацію.

Пухирці, що виділяються з рідини в місцях зниженого тиску, заповнені пором, несуться потоком і, потрапляючи в область із підвищеним тиском, конденсуються. При цьому частки рідини, що оточують пухирці пари, з досить великими швидкостями спрямовуються в простір, займане раніше пором. Відбувається зіткнення часток рідини, що супроводжується миттєвим місцевим підвищенням тиску, що досягають десятків, і навіть сотень мегапаскалей. Якщо конденсація відбувається в стінок каналів насоса, то матеріал стінок швидко руйнується. Причому, у першу чергу руйнуються ті місця, у яких є мікроскопічні тріщини на поверхні стінок.

Наприклад, із чавуну, насамперед, вибиваються графітові включення, а потім рідина, діючи як клин, ще більш інтенсивно руйнує матеріал стінок, утворюючи на їхній поверхні значні раковини. Крім того, матеріал стінок зазнає руйнування від хімічного впливу повітря, багатого киснем, і різних газів, що виділяються з рідини.

Описаний процес руйнування стінки каналу являється ерозією і є небезпечним наслідком кавітації.

Руйнування робочих коліс внаслідок кавітації представлені на рис. 1.11.

Зовнішнім проявом кавітації є наявність шуму, вібрації, спадання напору, подачі, потужності й ККД. Очевидно, що робота насоса в кавітаційному режимі неприпустима.

Виникнення й характер кавітаційних явищ визначаються кавітаційним запасом Δh – перевищенням питомої енергії рідини при вході в насос над питомою енергією її насичених пар:

$$\Delta h = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v_{вс}^2}{2g} \right) - \frac{p_{н.п.}}{\rho g} \quad (2.1)$$

де p , $v_{вс}$ – абсолютний тиск і швидкість на вході в насос;

$p_{н.п.}$ – тиск насичених пар рідини на вході в насос, що залежить від роду рідини і її температури.

Для води й бензину $p_{н.п.}$ наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Тиск насичених парів рідини на вході в насос $p_{н.п.}$, кПа

t, °C	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Вода	0,32	1,21	1,69	2,34	3,17	4,24	7,37	20,2	48,2	103,3

Початкова стадія кавітації визначається критичним кавітаційним запасом $\Delta h_{кр}$ – кавітаційним запасом, при якому в насосі спостерігається спадання напору на 2% на приватній кавітаційній характеристиці ($H = f(\Delta h)$), або на 1 м при напорі насоса більш 50 м.

Величину критичного кавітаційного запасу $\Delta h_{кр}$, м, можна визначити при кавітаційних випробуваннях насоса по приватній кавітаційній характеристиці, або по формулі С.С. Руднева:

$$\Delta h_{кр} = 10 \left(\frac{\sqrt[n]{Q}}{C} \right)^{3/4} \quad (2.2)$$

де n – частота, об/хв;

Q – продуктивність насоса, м³/с;

C – кавітаційний коефіцієнт швидкохідності, величина якого залежить від конструктивних особливостей насоса й дорівнює: 600 – 800 – для тихохідних насосів; 800 – 1000 – для нормальних, насосів; 1000 – 1200 – для швидкохідних насосів.

Робота насоса без зміни основних технічних показників, тобто без кавітації, визначається допустимим кавітаційним запасом $\Delta h_{\text{доп}}$, що обчислюються по формулі:

$$\Delta h_{\text{доп}} = A \Delta h_{\text{кр}}, \quad (2.3)$$

де A – коефіцієнт кавітаційного запасу ($A = 1,05 - 1,3 = f(\Delta h_{\text{кр}})$) ($A = 1,05 - 1,3 = f(\Delta h_{\text{кр}})$) (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт кавітаційного запасу

$\Delta h_{\text{кр}}$, м,	0-2,5	3	4	6	7	8	10	12	≥ 14
A	1,3	1,25	1,2	1,13	1,1	1,09	1,08	1,07	1,06

Графічна залежність, допустимого кавітаційного запасу від подачі в робочому інтервалі подач $\Delta h_{\text{доп}} = f(Q)$ називається кавітаційною характеристикою насоса (рис. 2.1). Її одержують при кавітаційних випробуваннях насоса по приватним кавітаційним характеристикам.

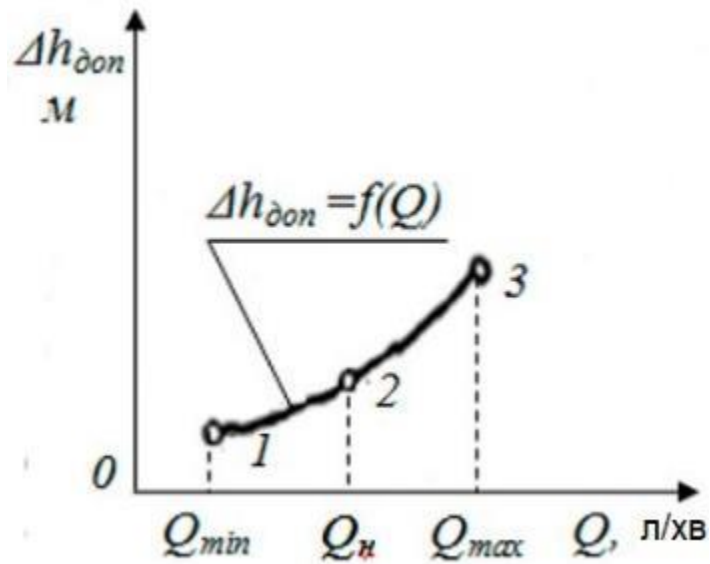


Рис. 2.1. Кавітаційна характеристика насоса

Приватна кавітаційна характеристика – це залежність напору насоса від кавітаційного запасу при постійній частоті обертання, подачі й температурі рідини, $H = f(\Delta h)$ (рис. 2.2).

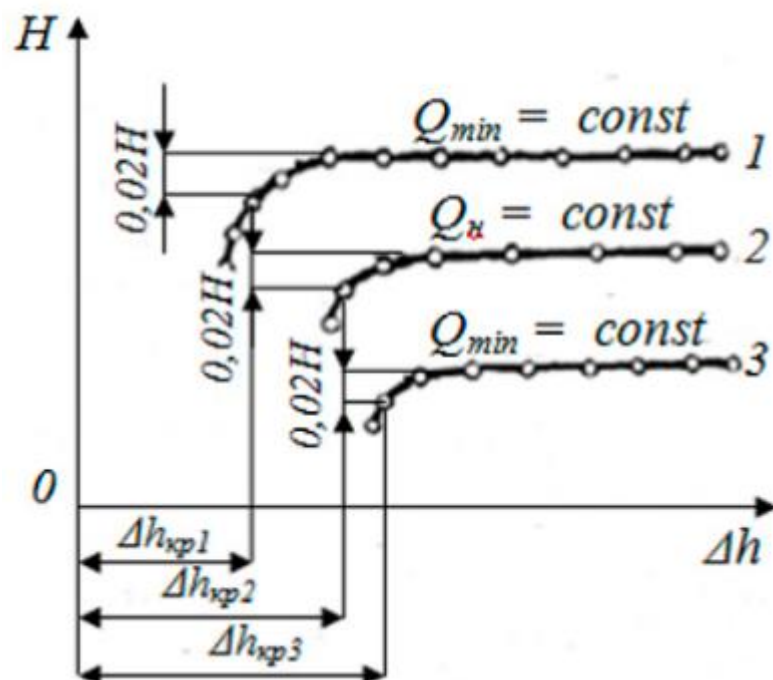


Рис. 2.2. Приватні кавітаційні характеристики насоса

При випробуваннях насоса кавітаційний запас визначається по формулі:

$$\Delta h_{\text{оп}} = \frac{p_a - p_v - p_{\text{н.п.}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} \quad (2.4)$$

де $p_a \approx 10^5 \text{ Па}$ – атмосферний тиск,

p_v – показання вакуумметра, Па.

Отримані дослідним шляхом значення $\Delta h_{\text{оп}}$ приводяться до номінальної частоти обертання n_n по формулі:

$$\Delta h = \Delta h_{\text{оп}} \left(\frac{n_n}{n_{\text{оп}}} \right)^2 \quad (2.5)$$

потім будується приватна кавітаційна характеристика насоса (рис. 2.2).

По кожній приватній кавітаційній характеристиці знаходяться $\Delta h_{\text{кр}}$ і Q , а потім $\Delta h_{\text{доп}}$ (по формулі 2.3). За значеннями $\Delta h_{\text{доп}}$ і Q будується кавітаційна характеристика $\Delta h_{\text{доп}} = f(Q)$ (рис. 2.1).

Контроль роботи насоса при його експлуатації проводиться за показниками вакуумметра, встановленого на вході в насос. Зв'язок кавітаційного запасу з вакуумом можна знайти з виразу:

$$H_{\text{вак}} = \frac{p_a - p}{\rho g} = \frac{p_v}{\rho g} \quad (2.6)$$

і далі, зробивши підстановку в (2.6) значення абсолютного тиску p з формули (2.1):

$$p = \Delta h \rho g + p_{\text{н.п.}} - \frac{v_{\text{вс}}^2 \rho}{2} \quad (2.7)$$

$$H_{\text{вак}} = \frac{p_a - p}{\rho g} = \frac{p_a - p_{\text{н.п.}}}{\rho g} - \Delta h + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} \quad (2.8)$$

За аналогією з (2.8) можна записати вираз для критичного і допустимого вакууму. Критичний вакуум:

$$H_{\text{вак}}^{\text{кр}} = \frac{p_a - p_{\text{н.п.}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{кр}} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g}, \quad (2.9)$$

вакуум, що допускається:

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = \frac{p_a - p_{\text{н.п.}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{доп}} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g}, \quad (2.10)$$

Уживається також поняття вакууметричної висоти усмоктування $H_{\text{в}}$, яка пов'язана з вакуумом залежністю:

$$H_{\text{в}} = \frac{p_a - p_{\text{н.п.}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g}, \quad (2.11)$$

або:

$$H_{\text{в}} = H_{\text{вак}} + \Delta h, \quad (2.12)$$

Вакуум на вході в насос залежить від розташування насоса стосовно вільної поверхні рідини в прийомному резервуарі геометричної висоти усмоктування $H_{\text{вс}}$, режиму роботи насосів і інших факторів.

Така залежність розраховується за допомогою рівняння Бернуллі:

$$H_{\text{вак}} = \frac{p_a - p_{\text{н.п.}}}{\rho g} = H_{\text{вс}} + \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} + h_{\text{вс}}, \quad (2.13)$$

де $h_{\text{вс}}$ – втрати напору в усмоктувальному трубопроводі.

Максимальна (критична) висота усмоктування, тобто висота, при якій починається кавітація, обчислюється по формулі:

$$H_{\text{вс}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} - h_{\text{вс}}, \quad (2.14)$$

або:

$$H_{\text{вс}} = \frac{p_a - p_{\text{н.п.}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{доп}} - h_{\text{вс}}, \quad (2.15)$$

Допустима висота, усмоктування $H_{\text{вс}}$, тобто висота, при якій забезпечується без кавітаційна робота насоса, дорівнює:

$$H_{\text{вс}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} - h_{\text{вс}}, \quad (2.16)$$

або:

$$H_{\text{вс}} = \frac{p_a - p_{\text{н.п.}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{доп}} - h_{\text{вс}}, \quad (2.17)$$

2.2. Вивчення можливості збільшення довговічності агрегатів на основі аналізу рівнів зношування деталей і вузлів агрегатів

Аналіз і моніторинг працездатності установок що потрапляють в сервіс показав, що насосні установки, при експлуатації виходять із ладу не в результаті зношування, а в результаті виходу з ладу конструктивних частин. Руйнування спостерігаються по секційних з'єднаннях насосних секцій, по тілу газосепаратора й ін..

Розглянемо відмови відцентрових заглибних насосів.

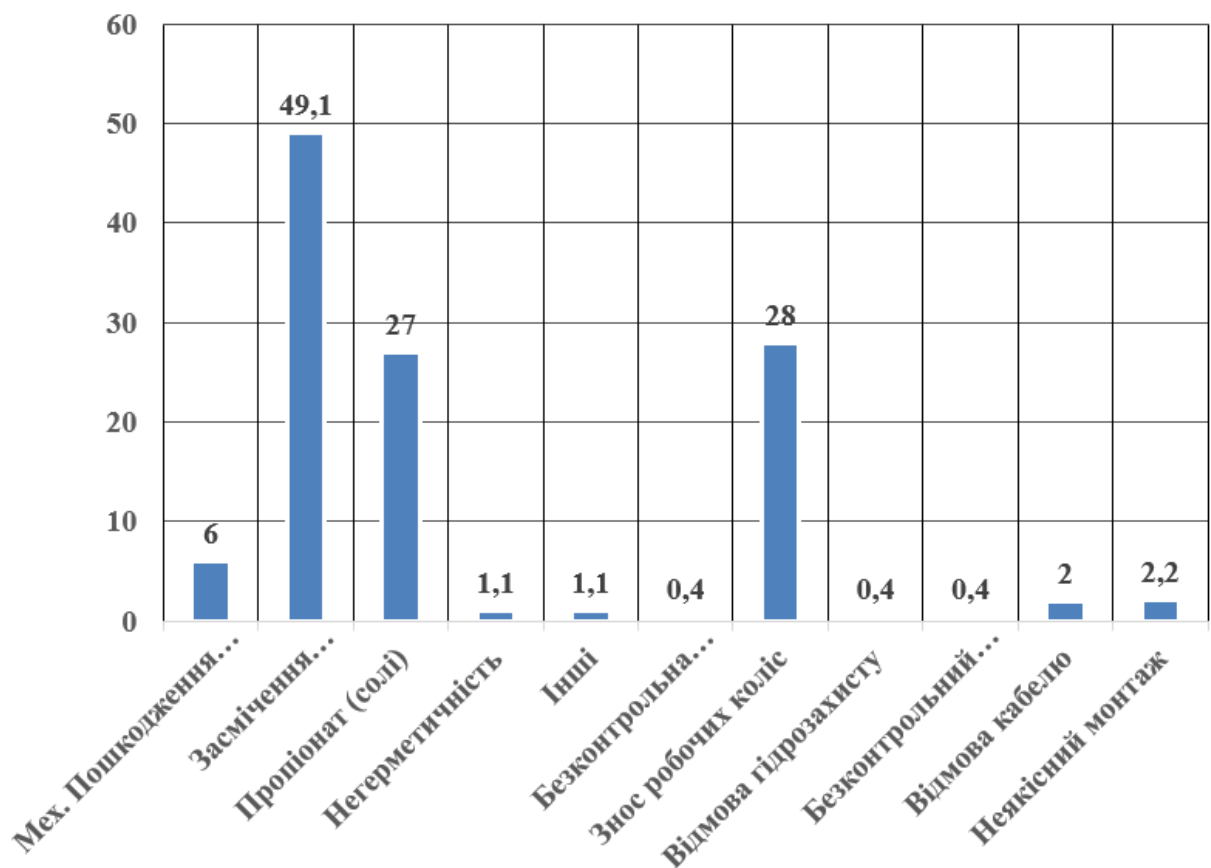


Рис. 2.3. Відмови заглибних насосів

Як видно з графіку найбільш вагомі відмови це: засмічення насоса, пропіонат або вапнування (відкладення солей) і знос робочих коліс.

Всі ці відмови пов'язані і звісно треба увагу приділити саме робочим колесам бо інші відмови вони не конструктивні і їх можна усунути загальними методами.

Є пропозиція використовувати робочі колеса з різних матеріалів.

2.3. Аналіз роботи заглибних відцентрових насосів з робочими колесами виконаними з поліаміду, нerezиста та чавуну

Проведений аналіз напрацьованих на відмову 205 електро-відцентрових заглибних насосів, де ВЗН із робочими колесами, виконаними з: поліаміду - 19 штук; нerezиста - 13 штук і чавуна - 173 шт. (дані наведені в табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Напрацювання на відмову ВЗН аварійного фонду свердловин, у залежності від матеріалу робочих коліс

Типорозмір	Кількість, що відмовили	Напрацювання на відмову, доба / кількість розчленовування секцій					
		Матеріал робочих коліс					
		Чавун		Поліамід		Нерезист	
		Новий	рем.	Новий.	рем.	новий.	рем.
5-20	12	108- 245	73- 654	-	163	-	-
5-30	4		184- 388/2		163- 478/2		
R5	-	-	332/1	-	-	-	-
Rc5	-	-	-	-	-	-	334
5-50	55	60-450	18- 332	-	240- 848	-	260
4-50	1	-	-	-	-	12/1	-
5-60	4	216/1	-	-	-	45- 122/ 2	150/1
5-80	60	127- 196	6-771/ 48	-	114- 364/ 5	226/1	23- 68/ 2
5-125	20	30-360 5	35- 275/13	-	149- 579/2	-	22/1
5A-160	12	1	7-198/ 11	-	-	-	201/1
5A-200	13	-	4-250/ 7	152/1	166- 315/3	-	45- 87/2

5A-250	11	230	65- 328 10	-	-	-	-
5A-500	11	271	60- 250	-	-	-	-
Середнє напрацювання, діб		175,8	221,3	152	263,7	108,8	154,9
Всього відмовивши насосів	205	21	152	1	18	4	9
	205	173		19		13	
Середній наробіток на відмову, діб			215,8	257,8		140,7	

Напрацювання на відмову насосу із робочими колесами виготовленими з різних матеріалів, після ремонту в 2 і більш раз не перевищує Напрацювання до відмови насосу із новими колесами. Причина полягає в тому, що ремонтні роботи по відновленню не здатні забезпечити відновлення вихідних властивостей робочих коліс.

Напрацювання на відмову ВЗН із робочими колесами виготовлених з поліаміду перевищує напрацювання на відмову ВЗН із колесами виготовлених із чавуну на 19,4%, а ВЗН із колесами виконаних з нерезиста перевершує на 83%.

Збільшення напрацювання на відмову (більш п'ятисот діб) з колесами виготовлених з поліаміду, пов'язана з їхньою меншою масою в порівнянні з масою коліс виготовлених з чавуну або нерезиста, тому що через масу цих робочих коліс утворюється значна обертова маса ВЗН. Відповідно, чим менше вага обертових мас ВЗН із дисбалансом, тем менше вібраційні показники, і відповідно менше експлуатаційні напруження.

Слід урахувати, що поліамід має невисоку температуру застосування (1400С), що обмежує його можливості застосування.

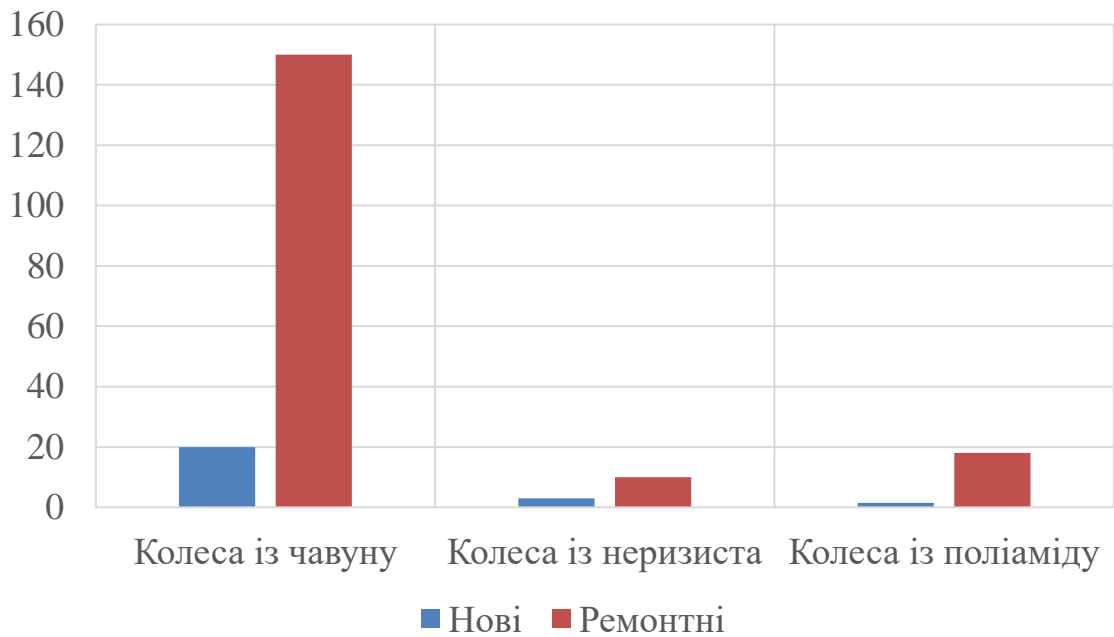


Рис. 2.4. Кількість відмов ВЗН з різним типом матеріалу робочих коліс:

Слід зазначити, що такі матеріали, як вуглепластик занадто дорогі, і в цей час у якості матеріалу коліс не можуть скласти конкуренцію чавуну. Така відмінність пов'язане з технологією виготовлення, зокрема з використанням ливарної технології.

Таблиця 2.4 - Структура аварій залежно від матеріалу робочих ступенів

Кількість	Матеріал			
	Чавун	Порошковий матеріал	Нирезист (Ni-Resist)	Вуглепластик
Аварій, %	85,2	10	9,5	0

Зношування поверхні каналів насів виникає у випадку застосування насоса механічні домішки, що містять, твердість яких вище твердості матеріалу ступенів.

Оскільки головним джерелом вібрації встаткування ВЗН є обертові елементи насоса, то до виконання робочих ступенів повинні пред'являтися високі вимоги. Відповідно, чим більше зношування поверхні, тим більше амплітуда вібрацій, далі збільшуються сили радіального биття, які передаються по валові всієї установки й приводять до втомного руйнування металу.

У ВЗН фірм виробників, ESP, Centrii't и REDA робочі органи виконані з нирезиста. У радіальних підшипниках пари тертя використовують нирезист (втулка) - К-Монель (вал). Поперечні зусилля в модульних секціях приймаються ступінчастими підшипниками, у яких функції виконують міжступінчасті ущільнення, які виконані маточинами робочими колесами й проточками напрямних апаратів. Матеріал з кераміки використовується для проміжних підшипників і кінцевих.

2.4. Аналіз методів поверхневого зміцнення матеріалів з метою вибору оптимального розв'язку для робочих коліс

У триботехнології [5] у якості способу підвищення якості несучого шару вказується на такі можливості як:

- утворення шару або плівки з високоміцного, корозійно- або зносостійкого матеріалу з матеріалу-основи;
- збільшення опорної довжини профілю поверхні механічними, електрофізичними методами, абразивною-алмазно-абразивною обробкою і її різновидами; електрохімічним поліруванням; вигладжуванням і обкатуванням; сатинуванням у процесі обробки обертовими металевими щітками; зменшення або регуляризації значень шорсткості,
- зміцнення деформаційне, виходить шляхом обробки поверхневим пластичним деформуванням або шляхом впливу на поверхню матеріалу основного матеріалу концентрованими потоками енергії або зміни хімічного складу поверхні основного матеріалу в результаті його перенасичення атомами матеріалу – зміцнювача, поверхневим легуванням;
- термо-зміцнення в наслідок локального термічного впливу на шар поверхні основного матеріалу;
- за допомогою комбінування вищевикладених методів.



Рис. 2.5. Шляхи підвищення зносостійкості

Методи зміцнення поверхні матеріалу або більш широкої модернізації поверхні винятково різноманітні по своїй природі, і числу.

У даному дослідженні ми розглянемо лише ті з них, які застосовуються для керування показниками зносостійкості в чавунах і сталях.

Методи підвищення зносостійкості матеріалів умовно можна розділити на п'ять груп (рис. 2.6):

- з утворенням твердого шару нового складу на поверхні базового матеріалу;
- з модернізацією хімічного складу й структури поверхневого шару;
- зі зміною структури й енергетичних параметрів поверхневого шару;
- зі зміною шорсткості поверхневого шару;
- зі зміною структур по всьому об'єму металу - об'ємна модифікація структури.

До першої групи з утворенням твердого шару на поверхні відносять такі способи зміцнення як:

- а) осадження з використанням хімічних процесів з рідкої фази (оксидування, сульфидування, фосфатування і т.д.);
- б) електролітичне осадження (хромування, нікелювання, борирування й ін.);
- в) формування твердих опадів з газової фази (по механізму пар - рідина - тверде тіло, термічний випар і конденсація й ін.);

г) напилювання зносостійких з'єднань (плазмове, детонаційне, електродугове й лазерне напилювання).



Рис. 2.6. Методи підвищення зносостійкості матеріалів

Спосіб осадження хімічною реакцією з рідкої фази. Цей спосіб характеризується широким спектром можливостей у плані вибору вихідних інгредієнтів, а також составів одержуваних покриттів. Однак, одержання якісного осаду в багатьох випадках являє собою досить складну проблему, і, крім того, буває важко забезпечити гарний рівень адгезії покриття до підложки. Для розв'язку завдання модернізації поверхні робочого колеса цей метод може розглядатися як перспективний у випадку, якщо будуть знайдені способи подолання зазначених проблем.

До способів електролітичного осадження відносять нікелювання, хромування.

До недоліків способу слід віднести тривалість і складність методу, а також крихкість і недостатню зносостійкість, отриманого осаду, що обмежує області можливого застосування цього методу.

До способів осадження твердих опадів з пар відносять процеси по механізму пар - рідина - тверде тіло, термічний випар тугоплавких з'єднань із наступною конденсацією, електрохімічний випар і ін. методи.

По механізму пар - рідина - тверде тіло можуть бути отримані як полікристалічні, так і монокристалічні матеріали. Це високоорганізовані зроблені структури, однак, технологічне оформлення цих процесів дороге, самі процеси повільні, і для цілей справжньої роботи на даний час перспективи не представляють.

Напилювання - один з популярних методів нанесення покриттів на різні інструменти й деталі. Існують наступні види напилювання: дугова металізація, детонаційне, плазмове, газополуменеве напилювання, напилювання та електроімпульсне нанесення покриттів.

Газополуменеве напилювання представляє досить просту технологію, при цьому витрати на встаткування й витрати на експлуатацію не великі. Завдяки цьому даний метод має широке застосування на практиці.

До недоліків способу можна віднести досить тривалий вплив високої температури на оброблюваний матеріал, контакт із киснем. Це викликає виникнення великої зони термічного впливу й можливі процеси випалювання вуглецю.

Застосування методів детонаційного напилювання, дугової металізації, плазмового напилювання [19,20] дозволяє створювати на поверхні інструмента тонкі зносостійкі шари, що підвищують міцність і стійкість, але в процесі експлуатації можливе відшарування цих покриттів або викрашування інструмента через його високу поверхневу твердість. Крім цього, як правило, для здійснення цих

методів потрібно складна дорога апаратура, що часто утрудняє процес зміцнення металу цими методами.

У цей час достатнє широке застосування для зміцнення поверхні знаходить нанесення електроімпульсних покриттів.

Метод нанесення електроімпульсних покриттів заснований на імпульсному розряді конденсатора через пруток металу, що напиляється [21,22]. Під час цього відбувається підривне плавлення прутка з осадженням дрібних розплавлених елементів металу на поверхню деталі.

Оригінальність електроімпульсного методу покриття деталей пов'язане з дуже великими габаритами часток у дрібнорозпиленому стані матеріалу, що напилюється. При розпиленні, де температури наближеної до точки кипіння металу прутка, усі частки перебувають у дрібнорозпиленому стані, при цьому нагрів відбувається рівномірно. Під час зіткнення з основною поверхнею швидкість руху часток становить сотні метрів у секунду.

Недоліком напилення методом електроімпульсної обробки є те, що його використання обмежене електропровідними матеріалами. Крім цього, даний метод не завжди придатний для одержання покриттів великої товщини.

До методів зі зміною хімічного складу й структури поверхневого шару відносять методи дифузійного насичення: поверхні металу атомами металів і неметалів. Як правило, таке насичення проводять методами хіміко-термічної обробки, яка не вимагає складного дорогого встаткування й достатньо проста в застосуванні. Крім цього, хіміко-термічна обробка дозволяє в ряді випадків одержати комплекс властивостей необхідних для підвищення терміну служби інструмента в конкретних умовах експлуатації.

До методу дифузійного насичення відносять нітрооксидування, азотування, хромування, цементацію, циатування, борирування і т.д. [23].

До цієї ж групи (зі зміною структури поверхневого шару) відносяться методи:

- а) лазерне й плазмове загартування;
- б) електрофізична обробка (електроімпульсна обробка, електроконтактна обробка, електроерозійна обробка, ультразвук);

в) механічна обробка (наклеп поверхні вібрацією, фрикційно - зміцнююча: обробка, дробеструмнна обробка, обробка вибухом, термомеханічна обробка, прокатування, волочіння, редукування і т.д.).

Перші два методи дозволяють створювати на поверхні металу тонкі зносостійкі шари підвищеної міцності. Після цих процесів не потрібно застосовувати остаточну механічну обробку, що дає можливість задовольнитись шарами невеликої товщини.

Недоліком такого способу також є використання дорогої апаратури.

У методі обробки в магнітному полі – електроферомагнітна обробка, обробка в імпульсному магнітному полі [22]. Метод можна застосовувати як для підвищення стійкості різального інструменту – різців, свердл, плашок, так і для матриць і пуансонів розділових штампів холодного листового штампування. Складність полягає в розрахунку значення залишкової індукції: і напруженості, необхідних для намагнічування інструмента. Параметри процесу можна встановити тільки експериментально.

Група методів зі зміною шорсткості поверхневого шару містить у собі наступні методи:

- а) електрохімічне полірування (занурення у ванну в струмені електроліту);
- б) обробка різанням (шліфування, суперфінішування);
- в) пластичне деформування (накатка, розкочування).

Ці методи в основному використовуються для різального інструменту, застосовуваного на верстатах – різці, свёрдла, мітчики, плашки і т.д. Залишкові напруження стиску, отримані різальним інструментом у результаті обкатування, утрудняють відрив часток інструмента й зменшує зношування. Однак існує можливість утворення шліфувальних тріщин на поверхні інструмента при неправильно обраному режимі обробки. Стійкість інструмента збільшується в 1,3 – 2 рази.

До групи методів зі зміною структур по всьому обсягу металу відносяться:

а) термічна обробка при позитивних температурах (загартування світле, звичайна, нескрізна, наскрізна, ізотермічна, із самовідпусткою, з безперервним охолодженням східчаста, відпустка низька, висока);

б) криогенна обробка (загартування з обробкою холодом з температури загартування або охолодження з нормальної температури);

в) магніто - електроімпульсні методи.

Термообробка при позитивних температурах змінює міцнісні характеристики по всьому перетину деталі, що не завжди прийнятне. Криогенні методи доцільно використовувати для сталей з підвищеним вмістом залишкового аустеніту.

Систематизація методів модифікації поверхні не має скворих і однозначних критеріїв, і деякі методи можуть бути віднесені відразу до декільком групам.

Із загального масиву методів вибір тих, що можуть бути використані для досягнення цілей, поставлених у справжній роботі, доцільно виконати, виходячи як з характеристик методів, так і з аналізу досвіду практичної реалізації.

Поряд з перерахованими вище методами, існують технології обробки поверхні, які набувають особливого сенсу з погляду трибології, як науки, що вивчає зношування, тертя, змащення в процесі взаємодії контактуючих поверхонь при їхнім взаємному переміщенні. Укажемо на деякі з них.

Процес мікродугового оксидування.

Зміцнення даним методом є результатом електроплазмо - хімічного перетворення поверхневого шару в багатофазну оксидну кераміку, яка має гарну теплостійкість і зносостійкість.

Найбільш продуктивним, із усього числа технологій формування оксидного шару, є процес мікродугового оксидування. Даний процес дозволяє створити на поверхні деталі мікродугові розряди, які приводять до розкладання електроліту, вивільненню з нього кисню, який, дифузійно впроваджуючись у поверхневий шар, приводить до окиснення металу. Але цей метод для нашого випадку не застосовується.

Застосування антикорозійного полімерного покриття із застосуванням порошкової металургії.

Для корозійної стійкості різних металокопструкцій використовують різні антикорозійні покриття, у тому числі – полімерні. Полімерні покриття повинні відповідати наступним основним вимогам: досить гарною адгезією покриттів з основою; корозійною стійкістю покриттів, відсутністю пористості, механічною міцністю. Процес нанесення покриттів повинен бути технологічним. Покриття на основі термопластів володіють великими можливостями антикорозійного захисту хімічного встаткування, яке експлуатується в умовах високого тиску і підвищених температур, а також впливу агресивних середовищ. До цієї групи відносяться найбільш хімічно стійкі й найменш дифузійнопроникні полімери. Ці матеріали також мають і всі основні властивості захисних покриттів.

Фінішна(безабразивна) антифрикційна обробка.

Сутність даного процесу ФАБО полягає в тому, що сталеві й чавунні деталі після остаточної традиційної обробки (хонінгування, полірування, шліфування, різання й ін.) покриваються найтоншим шаром (1...5 мкм) міді, бронзи або латуні. Покриття наноситься шляхом тертя прутка (інструмента) латуні, міді або бронзи по поверхні деталі, тим самим змазується поверхня тертя шляхом технологічної рідини.

У процесі тертя склад прутка переноситься на сталеву (або чавунну) поверхню деталей. Такі переноси матеріалу робочого інструмента на деталі відбувається суцільним шаром, який складається із дрібних часток, які добре зчеплені й із чавунною або сталеву поверхнею, а так самі між собою. Даний метод можна використовувати для деталей, що виготовляються за допомогою лиття. Обов'язковою вимогою є повне прилягання поверхні інструмента з поверхнею деталей.

Графітування поверхні.

Одним з найбільш відомих, серед твердих мастильних матеріалів, з коефіцієнтом тертя, який становить 0,1...0,15 є – графіт.

Структура графіту складається з найтонших пластин, які легко ковзають одна по одній, і при цьому володіють високим коефіцієнтом опору стиску. Гарні показники антифрикційних властивостей графіту закречаються в його

пластинчастій будові (шаруватому). У порівнянні зі зв'язками між атомами пластин, зв'язок між пластинами графіту слабкіше. Завдяки наявності вологої адсорбційної плівки, що перебуває на поверхні шарів графіт має гарні мастильні властивості.

Технологія епіламування.

Епіламування – це багатокомпонентна система, яка включає в себе різні функціональні добавки та фторорганічні поверхнево-активні речовини у різних розчинниках.

Під час нанесення поверхня деталей складу ПАВ (епіламування) утворює найтонший шар молекул, який дозволяє їй додати антиадгезійні, антифрикційні, гідрофобні й інші потрібні властивості, такі, як:

- зменшення поверхневої енергії для металів з 4000 до 3 мН/м), що приводить до значного зменшення коефіцієнта тертя й у результаті цього

- до збільшення зносостійкості сполучених деталей;

- зменшення поверхневої енергії матеріалу (від 1000 до 10000 раз);

- у результаті хорошої проникаючої здатності, ПАВ закупорюють усі пори й мікротріщини, дегазує їх і тим самим мікротріщини не мають можливості зосереджувати напруги й у результаті перестають бути основним центром руйнувань;

- плівки мають високу стійкість до температур і не міняють своїх експлуатаційних характеристик в інтервалі температур від -200°C до $+450^{\circ}\text{C}$ і в результаті чого можуть використовуватись в авіаційній і космічній техніці, а також до тиску (мах навантаження до 3000 мН/мм^2), впливу хімічних речовин і радіації.

- епіламування має високі властивості захисту від впливу різних агресивних середовищ;

Формування зносостійких покриттів методом механотермічної обробки.

Головним недоліком є те, що в результаті наплавлення зносостійких шарів на поверхні деталі утворюється істотна кількість зварювальних дефектів на нанесеному покритті, присутність основного матеріалу в наплавленому шарі й тому що в процес механо - термічного формування поверхні, склад, що наноситься кристалізується в стиснутих умовах, оскільки діє стискаюче механічне зусилля

(навантаження). Що виготовляється в даному випадку шар матеріалу не містить яких небудь порожнеч, а сам метал практично не підплавляється, оскільки вміст його в зносостійкому складі мінімальний.

Із усіх перерахованих методів по сукупних якостях (простота, надійність, поширеність і ін.) ми виділяємо рідиннофазні технології й хіміко-термічну обробку.

2.5. Висновки по розділу

Робоче колесо в порівнянні з іншими конструктивними елементами насоса випробовує максимальний рівень навантажень, пов'язаних з одночасним впливом на нього сил, що виникають при обертанні й супутніх коливаннях, а також при взаємодії зі свердловинною рідиною.

Робоче колесо:

- є головною частиною відцентрового насоса;
- забезпечує безперебійну подачу рідини;
- у більшості випадків колеса визначають термін служби насоса.

Аналіз аварійності залежно від матеріалу робочих щаблів: найбільша кількість аварій доводиться колеса, виготовлені їхнього чавуну 85,2 %, потім впливає порошковий матеріал для звичайних умов - 10,0 %, нерезист - 9,5 % і вуглепластик - 0,0 %.

У зв'язку з тем, що по сукупності факторів чавун, як матеріал коліс залишається найбільш раціональним варіантом, актуальним є завдання вдосконалювання технології одержання коліс із чавуну.

На основі аналізу якісних факторів показано, що існує значний потенціал поліпшення мікроструктурних і експлуатаційних характеристик робочих коліс, одержуваних за ливарною технологією.

3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Фрактографічний аналіз зламу диска робочого колеса

Для проведення досліджень було обрано робоче колесо відцентрового насосного агрегату, відбраковане за результатами зовнішнього огляду при проведенні поточного ремонту через наявність тріщини на периферії переднього диска в області примикання лопатки. Матеріалом дослідженого робочого колеса є сталь 25Л, широко застосовувана для виготовлення коліс відцентрових насосних агрегатів. У зв'язку з тим, що під час експлуатації злами дисків робочих коліс перетерплюють значну деградацію поверхні, та неможливо вірогідно встановити очаг руйнування. Тому для проведення фрактографічного аналізу була розкрита тріщина, наявна на диску (рис 3.1), тобто зроблений її долом.



Рис. 3.1- Тріщина на диску робочого колеса

Фрактографічний аналіз зламу диска робочого колеса по розкритій тріщині був проведений з використанням скануючого електронного мікроскопа JSM-840.

За результатами фрактографічного аналізу зламу по розкритій тріщині (Рис. 3.2) було встановлено, що руйнування диска робочого колеса має втомний характер, обумовлений характерною хвилястістю (Рис. 3.3, а) і шорсткістю рельєфу зламу (Рис. 3.3, б) [10]. Враховуючи, що кількість циклів до руйнування робочих коліс досліджуваного насосного агрегату, певне на основі статистичних даних, становить від $3,7 \cdot 10^8$ до $1,04 \cdot 10^8$, так втомне руйнування відбувається в багатоцикловій області.

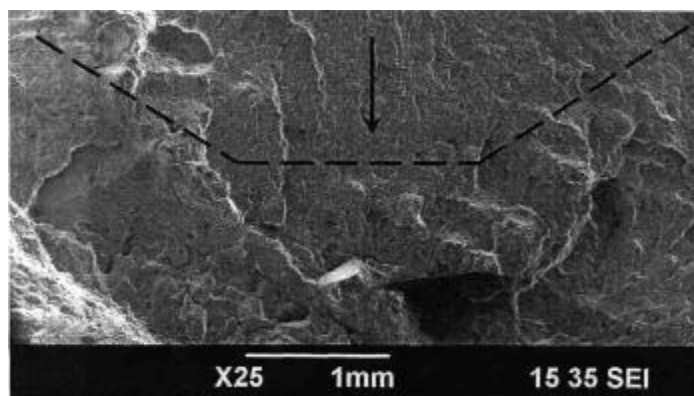


Рис. 3.2 - Загальний вид зламу після розкриття тріщини фрагмента 1, Стрілкою показаний напрямок росту тріщини

3.2. Визначення механічних властивостей металу робочого колеса після експлуатації за результатами вимірів твердості

Вимір твердості проводилися на робочому колесі після експлуатації в середовищі важкого нафтопродукту (Рис. 3.3).



Рис.3.3 - Зовнішній вигляд робочого колеса

Вимір твердості був проведений з метою непрямой оцінки механічних властивостей металу робочого колеса й виявлення ділянок з явно вираженим відхиленням механічних властивостей від відповідних значень нового колеса. Виміри проводили методом Роквелла на твердомірі ТК-2М сталеву кулькою діаметром 1,58 мм із навантаженням 1,0 кН. Для цього з робочого колеса був вирізаний сектор і розділений на частини відповідні передньому й задньому дискам, а також на лопатки (Рис. 3.4). Товщина дисків, що зазнають випробуванню, більш ніж в 10 раз перевищувала глибину впровадження наконечника після зняття основного зусилля.

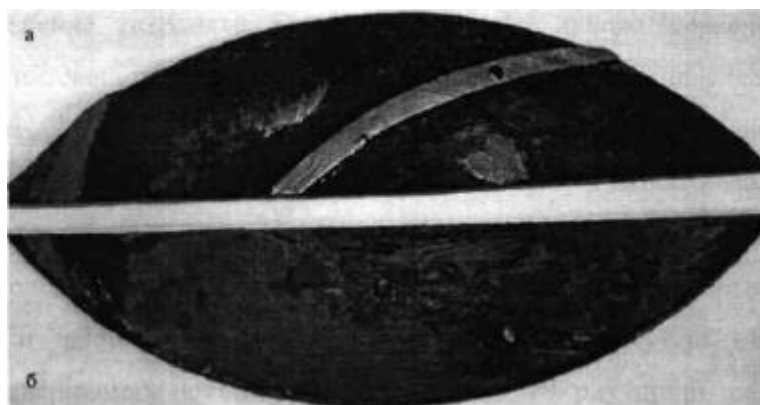


Рис. 3.4 - Зовнішній вигляд переднього диска (а) і заднього диска (б) вирізаного сектору робочого колеса

Випробування проводилися при температурі 20 °С. Опорні поверхні столика, і робочі поверхні зразка були очищені від сторонніх речовин і предметів. Зразок був стійко встановлений на столику щоб уникнути його зсуву й прогину під час виміру твердості. При вимірі твердості дотримувалися наступні умови: плавне приведення наконечника в контакт із робочою поверхнею зразка; плавний додаток попереднього й основного зусилля протягом 2-8 з; плавне зняття основного зусилля через 1-3 з послуживши стрілки індикатору.

Відповідно до ТУ-0521 «Методика діагностування технічного стану й визначення залишкового ресурсу технологічного встаткування нафтопереробних, нафтохімічних і хімічних виробництв» рекомендується проводити не менш трьох вимірів у кожній зоні, у нашому випадку, з метою підвищення точності вимірів,

твердість ухвалювалася за результатами шести й більш вимірів. Виміри проводилися від периферії до центру диска робочого колеса. Результати вимірів твердості, отримані в HRB по Роквеллу, переводилися у HB по Бріннелю.

Отримані значення твердості окремих частин робочого колеса згодом піддавались статистичній обробці. У якості оцінок ряду числових характеристик розподілу твердості в генеральній сукупності всіх вимірів використовувалися відповідні числові характеристики вибірки.

3.3. Розрахунки напружено-деформованого стану робочого колеса

Для розрахунків напружено-деформованого стану робочого колеса методом кінцевих елементів був використаний ПК ANSYS. Для розв'язку завдання був обраний восьмивузловий структурний елемент SOLID185. Потім задавалися граничні умови й швидкість обертання колеса. Вісь обертання була сполучена з віссю OZ. Внутрішня частина колеса була закріплена по осях OX, OZ, тобто $U_x = U_z = 0$. Далі задавалася швидкість обертання колеса, рівна 308 рад/с.

Розрахунки проводились на комп'ютері з використанням програмного забезпечення FLOW VISION 2.3.3.

Задавалися такі механічні властивості:

- модуль пружності;
- коефіцієнт Пуассона (приймали рівним 0,3);
- щільність сталі (складає 7,8 гр/см³).

Результати розрахунків напруженого стану на всіх досліджуваних режимах показали, що максимальні еквівалентні напруги виникають у положеннях 7, 8, а мінімальні - 1, 2, 3. Це пояснюється тим, що картина зміни напруженого стану й значення напруг на робочому колесі залежить від розподілу тиску рідини по робочому колесу, тому що напруги, що виникають від дії відцентрових сил, постійні за значенням і характеру розподілу (рис. 3.5 а). При цьому напруги від дії тиску рідини від 10 до 13 раз перевищують напруги від дії відцентрових сил.

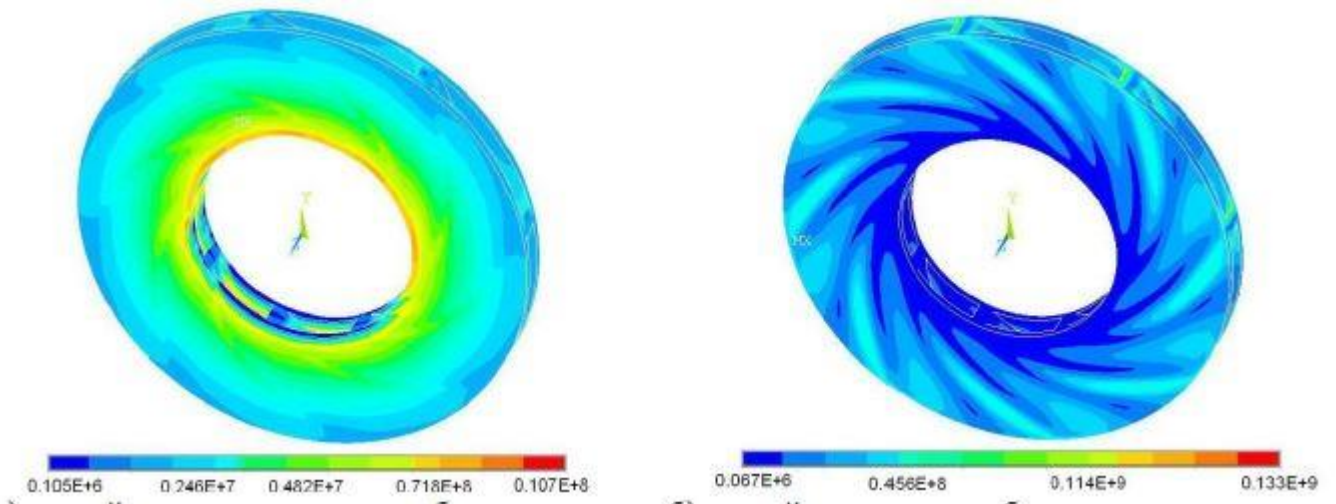


Рис. 3.5. Розподіл еквівалентних напружень по робочому колесу
 а – від дії тільки відцентрових сил, б – від дії відцентрових сил та тиску

Аналіз картини напруженого стану робочого колеса показує (рис. 3.5. б), що максимальні напруги виникають на периферії диска колеса в області примикання лопаток (рис. 3.6 а). Дані результати підтверджуються розташуванням тріщин, що виникають у процесі експлуатації (рис. 3.6 б).

Приклад зміни максимальних еквівалентних напруг на периферії диска робочого колеса в області приєднання лопаток за три оберти колеса при подачі 44,9 м³/год і температурі 324 °С представлений на рис. 3.7.

З отриманих результатів випливає, що навантаження робочого колеса відбувається в області пружної деформації, тому що максимальні напруги 133 МПа не перевищують значення границі текучості, рівного 225 МПа для сталі 25Л при середній температурі експлуатації 350 °С. Дані результати підтверджують, що метал колеса зазнає багатоциклового втому.

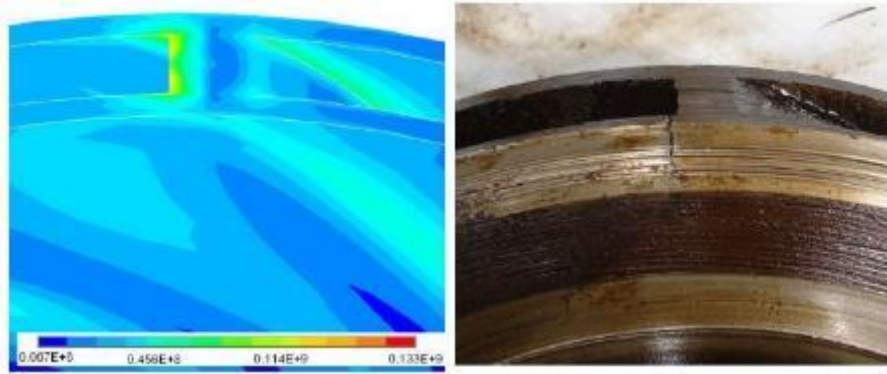


Рис. 3.6. Розподіл еквівалентних напружень (а) та тріщина в області примикання лопатки до диску колеса (б)

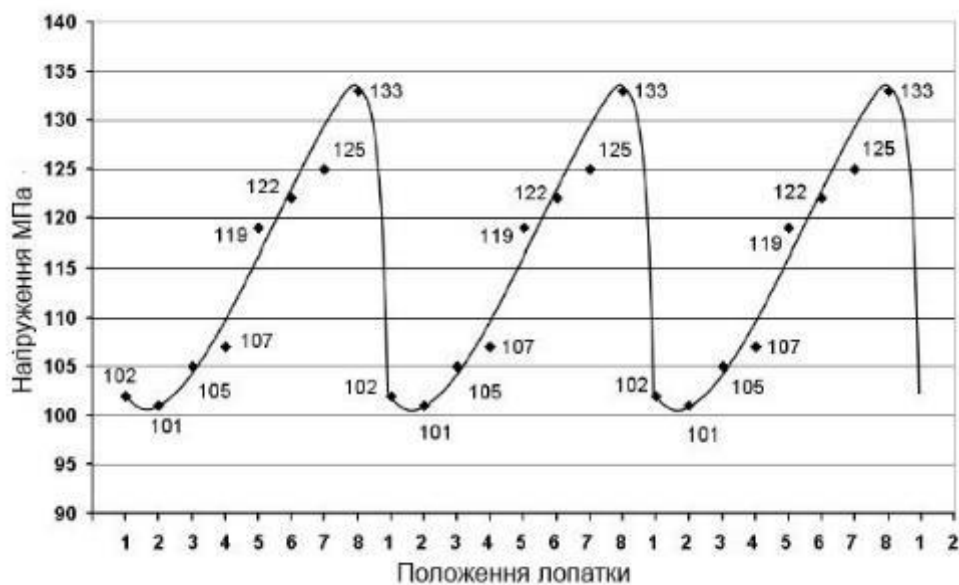


Рис. 3.7. Вимірювання максимальних еквівалентних напружень за три оберти колеса при подачі 44,9 м³/год. і температурі 324 °С

У результаті розрахунків у ПК ANSYS були встановлені характер і параметри циклів зміни максимальних напруг в області приєднання лопаток до дисків робочого колеса для дослідженого періоду експлуатації ВНА: максимальна напруга циклу (σ_{\max}); мінімальна напруга циклу (σ_{\min}); амплітуда напруг циклу (σ_a); середня напруга циклу (σ_m); коефіцієнт асиметрії циклу $R = 0,7$); а також теоретичний коефіцієнт концентрації напруг ($K_\sigma = 2,6$).

Аналіз результатів моделювання напруженого стану робочого колеса для різних режимів роботи ВНА й втомного характеру його руйнувань, що виникають

у процесі експлуатації, дозволяє запропонувати схему силового навантаження робочого колеса (рис. 3.8) і напрямку росту тріщини й зробити наступні висновки:

- зародження втомної тріщини в області приєднання лопаток на периферії диска робочого колеса від дії тиску рідини;

- напрямок розвитку тріщини і її траєкторія в диску робочого колеса визначається дією розтягувальних напруг, викликаних відцентровими силами, тому що ріст тріщини відбувається в напрямку перпендикулярному до напрямку розтягувальних напруг.

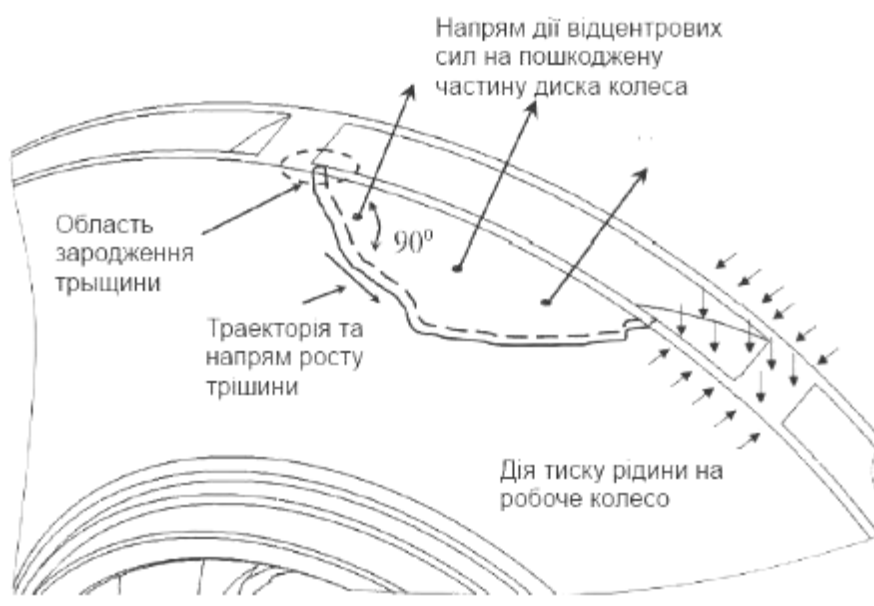


Рис. 3.8. Схема силового навантаження робочого колеса та напрямку росту тріщини

3.4. Розрахунки втомної довговічності робочого колеса

Розрахунки втомної довговічності робочого колеса проводились за допомогою рівнянь ушкоджень силового типу для умов багатоциклового навантаження з урахуванням асиметрії циклу, властивості матеріалу, розмірів, концентрації напруг, стану поверхні й виду напруженого стану. Для визначення наближеного аналітичного числа циклів до руйнування N_p використовувалася формула, запропонована в роботі П.А. Павлова

$$N_p = \left[\frac{A}{K \cdot \sigma_a} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_u} \right) \right]^m \quad (3.1)$$

де A і m - параметри експериментальної кривої втоми;

$$K = \frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma \cdot \beta_\sigma} - \text{коефіцієнт, що відображує коефіцієнт концентрації напружень,}$$

масштабний фактор і чистоту поверхні;

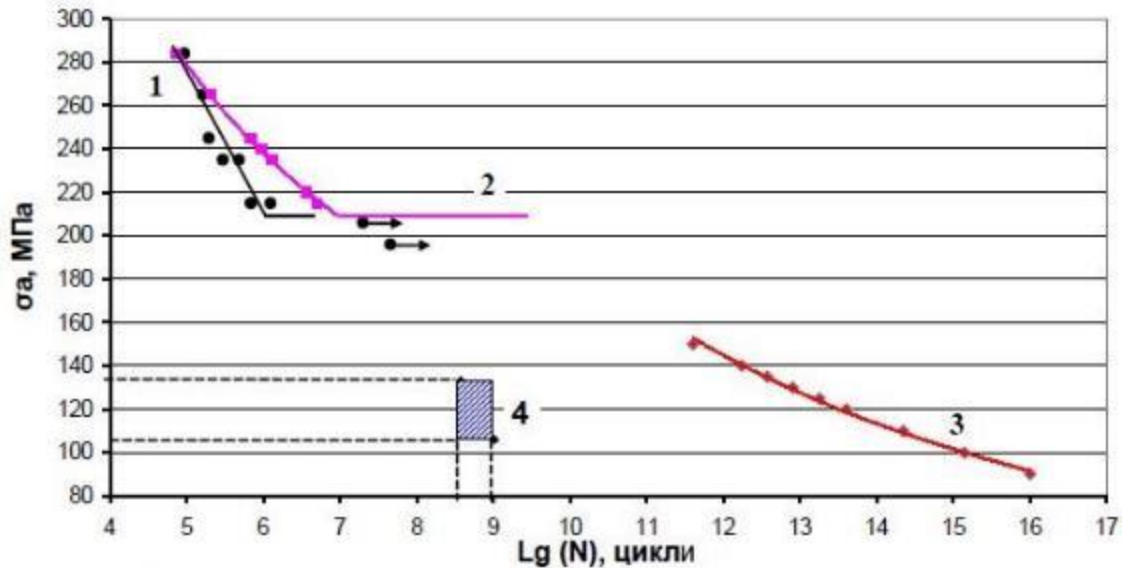
σ_u - умовна межа міцності;

$\varepsilon_\sigma = 1$ - коефіцієнт, що враховує масштабний фактор;

$\beta_\sigma = 0,8$ - коефіцієнт, що враховує стан поверхні.

З метою оцінки вірогідності використання формули (3.1) для розрахунків довговічності була побудована розрахункова крива втоми 2 (рис.3.9). При розрахунках довговічності рівні навантажень задавалися відповідно до експериментальних значень. Границя витривалості, певна розрахунковим шляхом, сходиться з експериментальним значенням (крива 1) і, як видно з рис. 3.9, ліві гілки кривих втоми мають незначну розбіжність. Отже, дана формула може бути застосовна для визначення втомної довговічності при експлуатаційних навантаженнях.

Для визначення кількості циклів до руйнування робочого колеса для діапазону подач дослідженого періоду роботи насосного агрегату з урахуванням параметрів циклу зміни напруг і коефіцієнта концентрації напруг була побудована крива 3 (рис. 3.9). Однак розбіжність кривої 3 і області довговічності робочого колеса 4, певної на основі збору статичних даних, вимагає введення поправочної функції до формули (3.1), що враховує такі експлуатаційні фактори як корозійний вплив середовища, що перекачується, частота навантаження (обертання робочого колеса) і зміна режимів навантаження, що й дозволяє об'єктивно оцінювати довговічність робочого колеса в процесі експлуатації в середовищі важких нафтопродуктів.



- 1 – експериментальна крива втоми при симетричному циклі навантаження;
- 2 – розрахункова крива втоми при симетричному циклі навантаження;
- 3 – розрахункова крива довговічності робочого колеса;
- 4 – область довговічності робочих коліс в процесі експлуатації;

Рис. 3.9. Криві втоми для сталі 25Л

Поправочна функція визначалася як залежність статистичних даних часу наробітки до руйнування робочих коліс і розрахункових даних часу наробітки до руйнування від максимальних напруг колеса, що виникають в області примикання лопаток на периферії диска. Формула для визначення поправочної функції має вигляд:

$$C_f = 10^{0.05 \cdot \sigma_{\max} - 11.54} \quad (3.2)$$

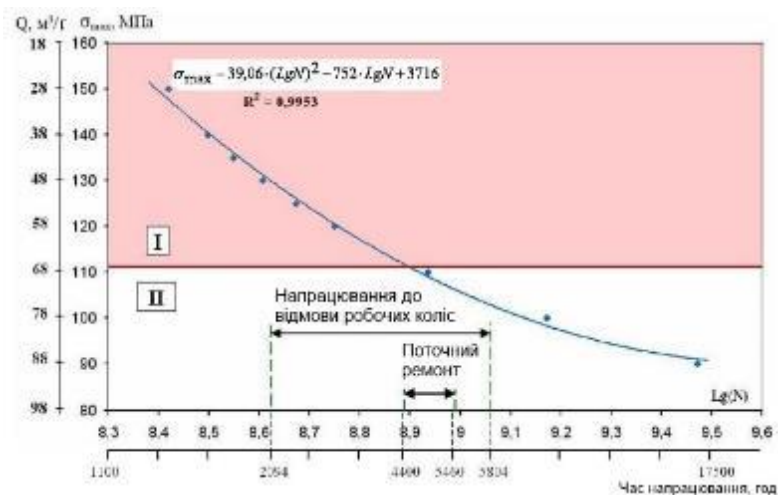
де σ_{\max} - максимальна напруга в МПа.

Таким чином, формула (3.1) для визначення кількості циклів до руйнування буде мати вигляд

$$N_p = C_f = 10^{0.05 \cdot \sigma_{\max} - 11.54} \left[\frac{A}{K \cdot \sigma_a} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_u} \right) \right]^m \quad (3.3)$$

Однак у процесі тривалої експлуатації робоче колесо насосного агрегату зазнає складному режиму навантаження, тобто послідовність значень амплітуд і середніх напруг циклу змінюється випадковим чином. Для того, щоб було можливим здійснити розрахунок кількості циклів до руйнування, необхідно зробити схематизацію експлуатаційного режиму навантаження відповідно до ДСТУ 25.101-93, наприклад, методом «падаючого дощу» і визначити розрахункові цикли (блоки). Далі для кожного з розрахункових циклів (блоків) можна визначити кількість циклів до руйнування по формулі (3.3). Після цього сумарне число циклів до руйнування можна визначити, наприклад, відповідно до лінійної гіпотези підсумовування ушкоджень за ДСТУ 25.507-95.

У зв'язку з тим, що частота обертання колеса становить 2950 об/хв і відбуваються сильні й часті коливання параметрів режиму роботи ВНА, то розрахунки сумарної кількості циклів до руйнування робочого колеса відповідно до характеру нестационарності навантаження дослідженого періоду часу представляється дуже трудомістким і практично вірогідно не здійсненним. Тому, використовуючи формулу (3.3), була побудована крива визначення часу наробітку на відмову робочого колеса (рис. 3.10) з урахуванням того, що кожна крапка кривої відповідає стаціонарному режиму роботи ВНА й відповідної їй довговічності робочого колеса.



I - неприпустима область подач при експлуатації насосного агрегату;

II - рекомендована область подач при експлуатації насосного агрегату.

Рис. 3.10. Залежність часу напрацювання на відмову робочого колеса від подачі ВНА при перекачуванні нафтопродуктів:

З рис. 3.10 видно, що в більшості випадків робочі колеса не допрацьовують до чергового поточного ремонту насосного агрегату, який становить від 4400 до 5460 годин. Тому на залежності часу наробітку на відмову робочого колеса від подачі ВНА при перекачуванні нафтопродуктів виділено дві області експлуатації насосного агрегату, розділені по подачах:

- область I - область подач, неприпустимої при експлуатації насосного агрегату через вихід з ладу робочого колеса;
- область II - область подач, рекомендована до експлуатації, у якій буде забезпечена безвідмовна робота колеса до поточного ремонту ВНА.

По результатам роботи розроблений алгоритм для оцінки часу наробітку на відмову робочих коліс ВНА при перекачуванні нафтопродуктів (рис. 3.11).

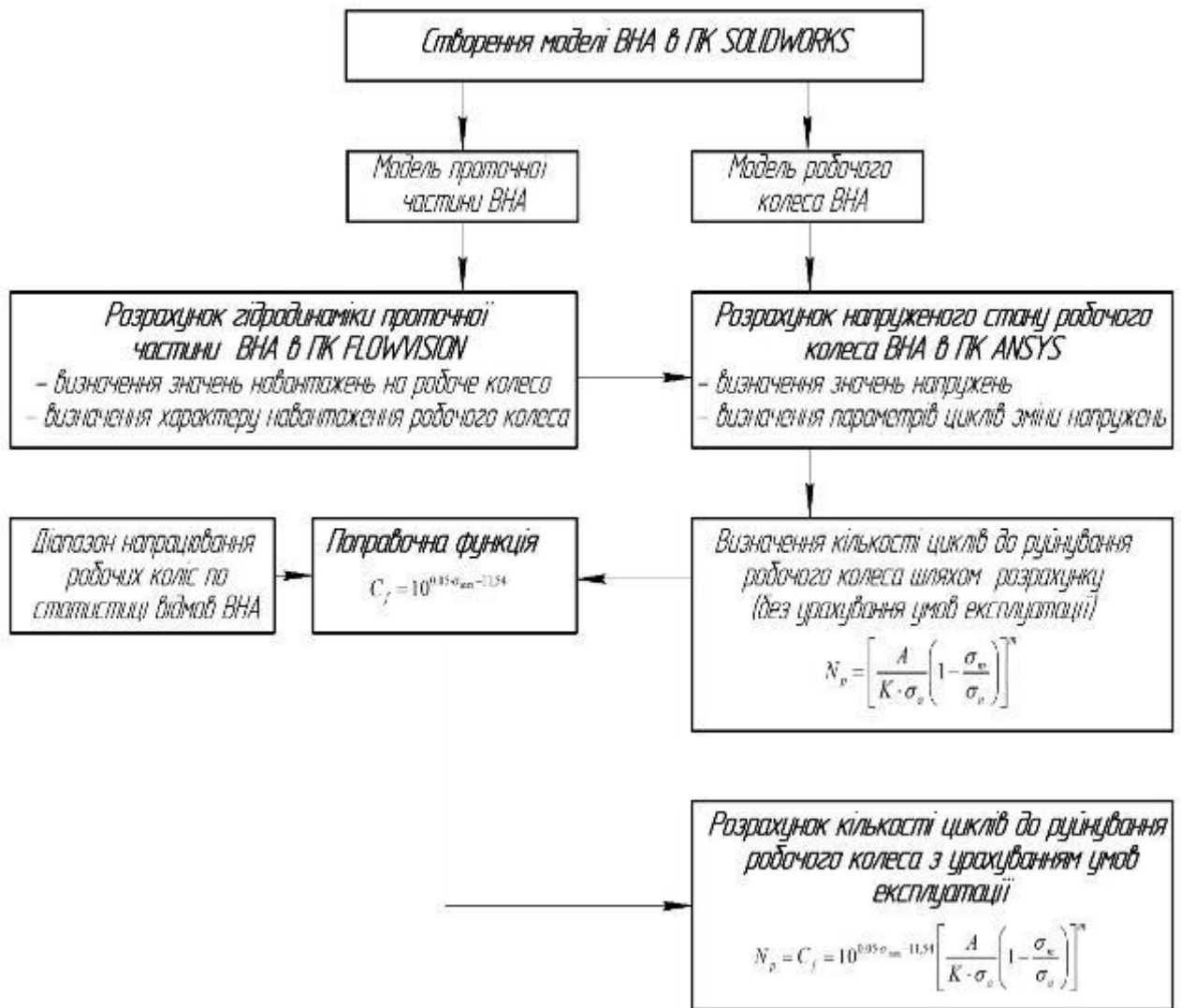


Рис. 3.11. Алгоритм для оцінки часу наробітку на відмову робочих коліс ВНА

Алгоритм застосовується в такий спосіб. На першому етапі створюється твердотільна тривимірна модель проточної частини відцентрового насосного агрегату в програмі SOLIDWORKS, і при необхідності, модель усього насоса. Далі проводиться підготовка моделі проточної частини до імпорту в програмний комплекс FLOWVISION для проведення гідродинамічних розрахунків. У результаті розрахунків гідродинаміки потоку рідини виходить картина розподілу тиску на деталях проточної частини відцентрового насосного агрегату для досліджуваних режимів залежно від температури й подачі. Аналіз отриманих результатів дозволяє встановити характер навантаження робочого колеса при його обертанні в корпусі насосного агрегату й значення навантажень від дії тиску рідини в області приєднання лопаток до дисків робочого колеса.

Отримані результати розподілу тиску по робочому колесу використовуються в якості вихідних даних для визначення напружено-деформованого стану робочого колеса в програмному комплексі ANSYS. За результатами розрахунків у програмному комплексі ANSYS встановлюються значення й параметри циклу зміни напруг в області приєднання лопаток до дисків робочого колеса при його обертанні: максимальна напруга циклу, мінімальна напруга циклу, амплітуда напруг циклу, середня напруга циклу, коефіцієнт асиметрії циклу, а також теоретичний коефіцієнт концентрації напруг.

На наступному етапі проводяться розрахунки кількості циклів до руйнування робочого колеса за допомогою рівняння ушкоджень силового типу, запропонованого в роботі П.А. Павлова для визначення кількості циклів до руйнування при багатоцикловій втомі. Для досліджуваного діапазону подач насосного агрегату з урахуванням параметрів циклу зміни напруг і коефіцієнта концентрації напруг, отриманих у програмному комплексі ANSYS, будується крива втомної довговічності робочого колеса й визначається діапазон кількості циклів наробітку до руйнування колеса.

Наступний етап полягає у встановленні діапазону кількості циклів наробітку до руйнування робочих коліс на основі аналізу статистики відмов насосних агрегатів, що експлуатуються при температурі, подачі й характері середовища, що перекачується, аналогічних умовам експлуатації й марці проектного насоса.

Далі визначається поправочна функція до рівняння ушкоджень силового типу, запропонованому в роботі П.А. Павлова. Поправочна функція визначається як залежність відносини статистичних даних часу наробітку до руйнування робочих коліс і даних часу наробітку до руйнування отриманих шляхом розрахунків від максимальних напруг колеса, що виникають в області примикання лопаток на периферії диска.

Останній етап полягає в одержанні рівняння ушкоджень силового типу, з урахуванням поправочної функції, що дозволяє розраховувати кількість циклів до руйнування робочого колеса проектного насосного агрегату в процесі експлуатації.

Визначаючи сумарну кількість циклів до руйнування колеса при нестационарному режимі експлуатації використовуючи, наприклад, лінійну гіпотезу підсумовування ушкоджень, можна прогнозувати час наробітку на відмову робочого колеса. Для практичного застосування отриманих результатів у роботі для насосного агрегату представлена залежність часу наробітку на відмову його робочого колеса від подачі при перекачуванні масла, відповідно до якої, не прибігаючи до складних обчислювальних розрахунків, для даної марки можна визначити довговічність його робочих коліс.

3.5. Відпрацювання технології поверхневого зміцнення робочих коліс Борируванням по методу хіміко-термічної обробки (ХТО)

Рідиннофазні методи нанесення покриттів представляють, значний інтерес.

У якості зміцнюючого елемента слід виконати види робіт [24- 27], але необхідно розробити технологічний процес борирування при литті.

Борування [28] — це хіміко-термічна обробка, яка насичує поверхневий шар сталі бором при нагріванні у відповідному середовищі (поверхнєве зміцнення). Одна тисячна бору подвоює зносостійкість сталі. Борування найчастіше проводять при електролізі розплавленої бури ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Продукт виконує роль катода. Температура насичення 930-950°C, час витримки 2-6 годин.

Метод ХТО - один з ефективний і широко застосовується в промисловості для підвищення показників довговічності і надійності основних вузлів деталей машин, а також технологічної оснастки, інструмента [28].

Під методом ХТО розуміється нагрівання деталі з наступною їх витримкою при високих температурах і хімічно активних середовищах (твердих, рідких або газоподібних), після чого змінюються властивості поверхневих шарів, хімічний склад, структура.

У порівнянні з іншими методами поверхневої обробки металів (дробеструминний наклеп, накатка роликками, індукційна, газополуменева й

електролітне загартування, лазерна обробка і т.д.), ХТО має ряд істотних переваг (хоча часто уступає їм у продуктивності):

1. Методом ХТО можливо обробляти деталі різної геометрії й розмірів. При інших методах поверхневого зміцнення, геометричні параметри відіграють велике значення (приклад: накатка роликками або загартування СВЧ).

2. Під час ХТО, у порівнянні з іншими методами обробки, досягається більша різниця у властивостях поверхневого шару і серцевини.

3. Головна складність, що виникає у більшості методів термічних поверхневих зміцнень - це перегрів поверхонь, при ХТО відсутній, або ж може бути подолано наступною термообробкою.

Висока зносостійкість - це ключова властивість, заради якого застосовують метод борювання сплавів або ж металів. Зносостійкість борюваних сталей марки - 45, у режимі сухого тертя - ковзання вище в 4 - 6 разів зносостійкості цементованих; в 3 - 8 разів ціанованих; 1,5 - 3 рази нітроцементованих; в 4 рази загартованої низьковідпущеної сталі 45; в 2 рази хромосицізованих [29].

Потрібні властивості поверхневих шарів можуть формуватися як у процесі ХТО (хромування, азотування, борювання й ін.), так і у випадку наступної термообробки (цементациї, нітроцементациї).

На сьогоднішній день накопичено не малий досвід промислового застосування борювання, який збільшує довговічність: пальців і втулок гусениць трактора й інших гусеничних машин в 5 - 17 разів; втулок бурових і грязьових насосів в 3 - 4 рази; пальців ланцюгів земснаряда - в 6 - 7 разів; деталей металургійного встаткування - в 3 - 5 разів; ножів для холодного різання металів - в 3 - 4 рази; деталей прес-форм лиття під тиском алюмінієвих сплавів - в 2 - 15 разів; дисків труби турбобура - 4 - 5 разів; матриць і пуансонів штампів холодного штампування - в 2 - 13 разів; деталей штампів гарячого штампування - в 1,5 - 3 рази; деталей прес-форм; деталей технологічного оснащення - в 1,5 - 5 разів і т.д. [29].

Насичення поверхонь сталей і сплавів методом дифузії, в основному проводять при високій температурі ізотермічної або ізотермічно ступінчатою витримці з наступною перекристалізацією сталі в стан аустеніта. Усе це приводить

до перегріву, структурні й механічні властивості, за виключенням зносостійкості і твердості погіршуються. Основним мінусом процесу традиційної ХТО є також: висока енергоємність і висока тривалість.

Усі недоліки усуваються в режимі циклічної зміни температури – термоцикування (ТЦО), при дифузійному насиченні поверхні сплаву [30].

Мінусом цього методу є те, що збільшення міцності не пов'язане з необхідним рівнем пластичності сталі, крім цього приведений спосіб дуже трудомісткий і довгий.

Установлено, що процес дифузії по границях зерен виступає в ролі головного механізму карбоборирування, за винятком поверхневого шару, там визначаючим параметром виступає реакційна дифузія.

Багатокомпонентне насичення застосовується вкрай рідко, не залежно від того, що дифузійні шари можуть поєднувати різні властивості однокомпонентних шарів, і як наслідок, дають можливість побільшати експлуатаційні параметри застосовуваного інструмента й деталей машин.

Велике застосування на виробництві й у промисловості одержали інші методи однокомпонентного дифузійного насичення металами й неметалами (цементация, азотування, хромування) або ж такі як борирування.

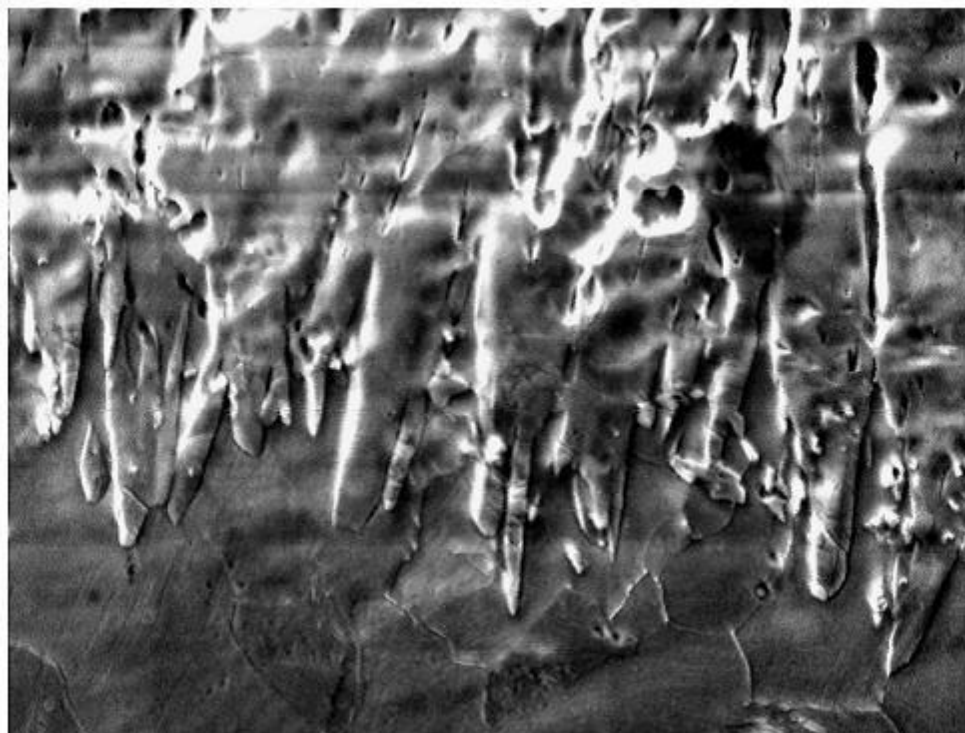


Рис. 3.12. Структура борированного шару сталь 45, отримана методом РЕМ,
– стовпчасті кристали бориду FeB

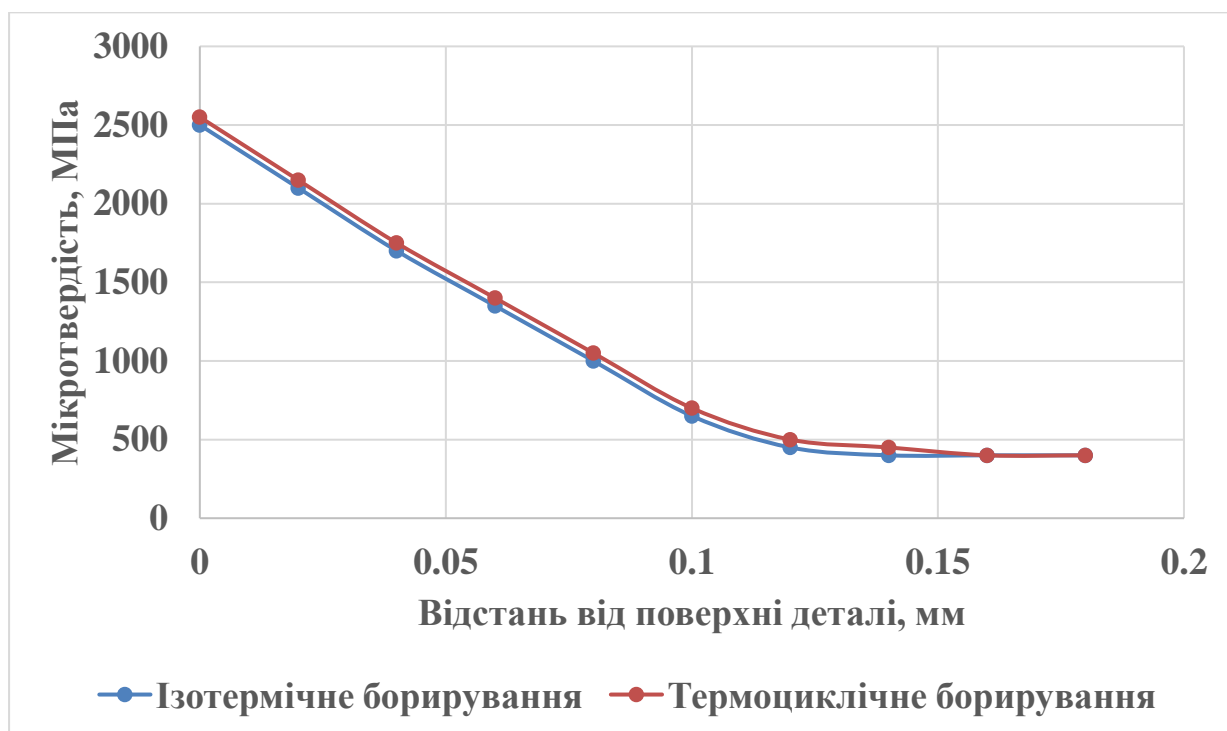
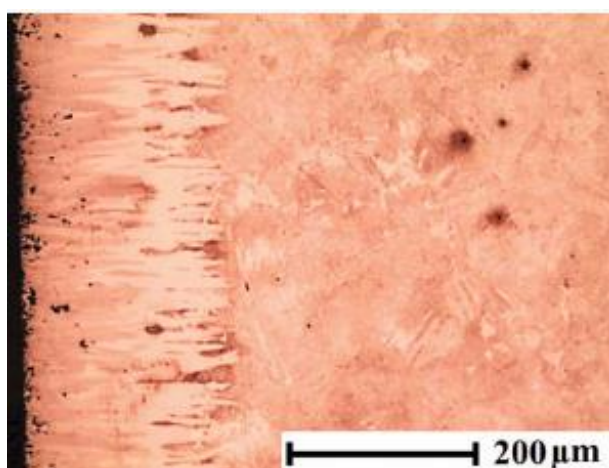
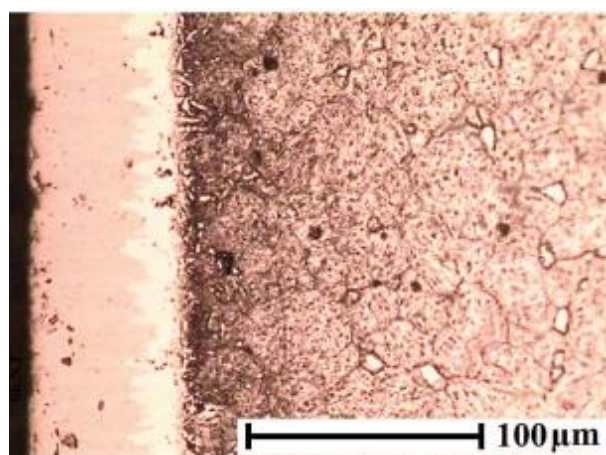


Рис. 3.13. Литий чавун. Розподіл мікротвердості борированного шару

У результаті обробки в розплаві Rubor 1 на поверхні як сталевих, так і чавунних деталей формуються типові двофазні боридні шари (рис. 3.14). Товщиною до 0,2 мм і твердістю до 2200 HV0.1 (рис. 3.15). Поверхнева зона відповідає бориду FeB (1800...2200 HV0,1), під яким розташовується зона боридів Fe₂B (1500...1800 HV0,1).



а



б

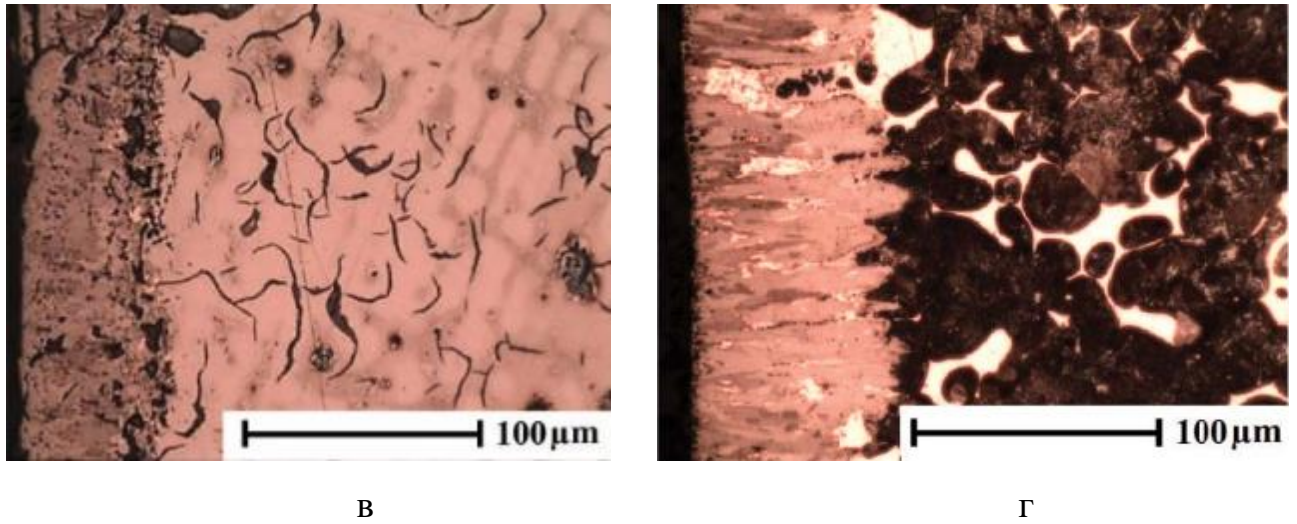


Рис. 3.14. Структура боридних шарів після обробки в розплаві Rubor 1 при 950°C протягом 4 годин:

а) сталь 40Х, б) 14Х17Н2, в) чавун ЧН15 Д, г) порошковий матеріал ПК90 Д25.

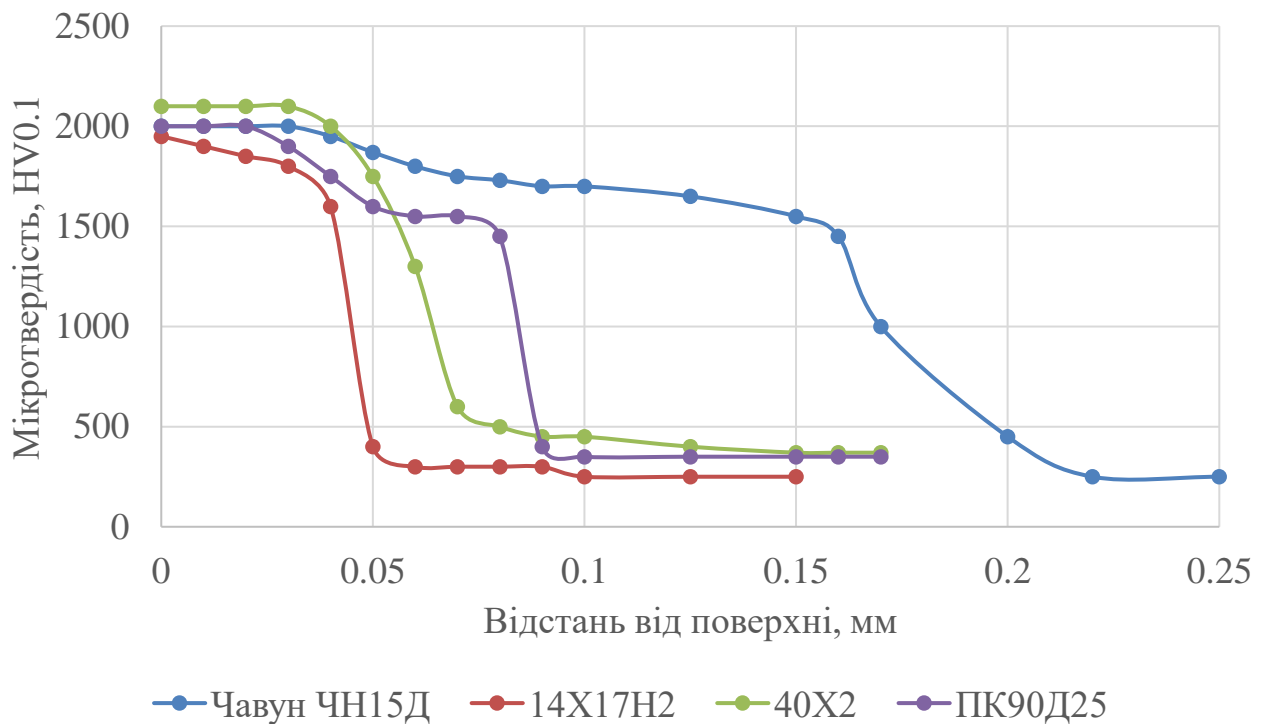


Рис. 3.15. Мікротвердість боридних шарів після борирування в розплаві Rubor 1 при 950°C протягом 4 годин

Можливості технології рідинного борирування такі, що міняючи активність ванни, можна одержувати як двофазні, так і однофазні шари (Рис. 3.16).

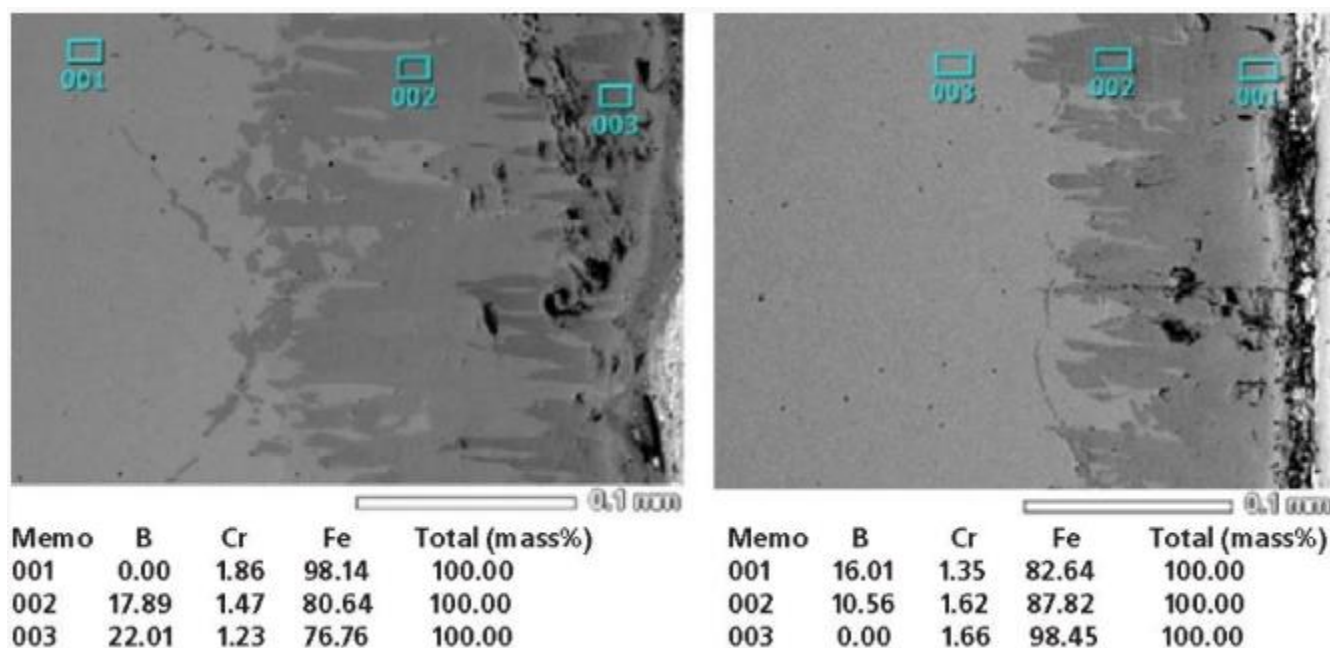


Рис. 3.16. Мікроструктура й пошаровий хімічний склад сталі 25X2M1Ф після рідинного борирування при 950°C протягом 4 годин у розплаві Rubor 1 (а) і в розплаві, збідненому по бору (б).

У багатьох випадках це може бути актуальним з погляду одержання менш тендітних шарів з підвищеними корозійними властивостями, тому що відомо, що дифузійні шари, що складаються переважно з борида Fe_2B є більш стійкими в багатьох середовищах, чом двофазні шари, що складаються із боридів Fe_2B і FeB [2].

До переваг слід віднести й те, що промивання деталей після борирування в розплаві Rubor 1 проводиться в гарячій воді методом занурення в промивний бак з барбатором. Залишки солі легко розчиняються у воді, при цьому не виявляються зміни шорсткості поверхні і які-небудь дефекти: виразки, тріщини, відколи й інші.

Слід зазначити, що технологія рідинного борирування дозволяє легко проводити наступні операції загартування для додання остаточних властивостей серцевині.

Широке застосування технології борирування для зміцнення деталей стримується через малу кількість інформації із властивостей і прикладам

можливого застосування. Також важливий фактор це те, що сервісні центри не можуть виконувати таку операцію так як борирування виконується в спеціальному термічному цеху в умовах виробництва. Стосовно сервісного центру Водограй то він є офіційним дилером і може замовляти таку операцію на заводі виробнику для відновлених або ремонтних коліс.

Стійкість насосів визначається здатністю їх ступенів опиратись корозійно-абразивному зношуванню. Порівняльні випробування різних видів дифузійних покриттів зі штатною технологією, що включає ізотермічне загартування, показують 4- кратне підвищення зносостійкості при терті метал по металу в присутності абразиву як для пар тертя, виготовлених із чавуну, так і з порошкового матеріалу (рис. 3.17).

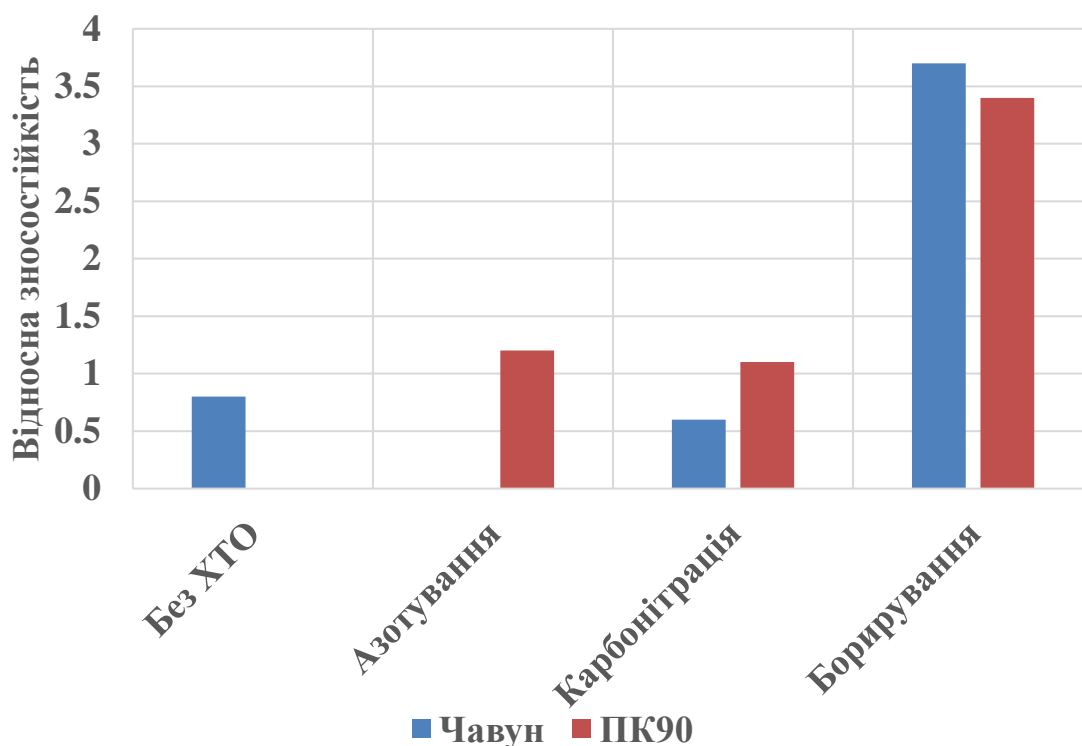


Рис. 3.17. Зносостійкість порошкового матеріалу ПК90Д25 і чавуну після випробувань у розчині 30% МОР + 70% води із уведенням 10 г/л Al_2O_3 (імітатор абразиву).

Корозійна стійкість борируваного шару в спеціальних середовищах, що імітують пластову рідину (водяний розчин 5% NaCl+3%HCl) і рідина для

промивання насосів (водний 10% розчин HCl) – підвищується в 4 і 10 раз відповідно (рис. 3.18).

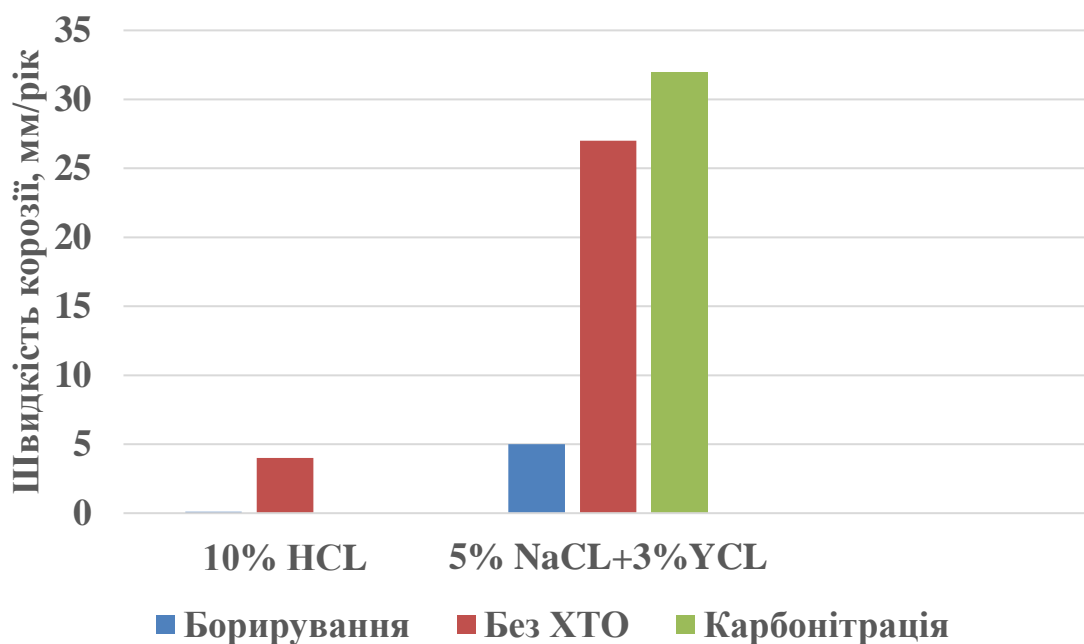


Рис. 3.18. Коррозійна стійкість чавуну у різних середовищах при $t = 50^{\circ}\text{C}$, 4 години

Технологія рідинного борирування пройшла успішну перевірку на цілому ряді деталей у різних галузях промисловості (рис. 3.19).



а – робоче колесо сталеве після борирування, твердість – 450HV, глибина шару – 0,31 мм



б - робоче колесо сталеве після борирування,
твердість – 53HRC, глибина шару – 0,3 мм

Рис. 3.19. Приклад застосування технології рідинного борирування

3.6. Висновок по розділу

За результатами фрактографічного аналізу зламу по розкритій тріщині було встановлено, що руйнування диска робочого колеса має втомний характер, обумовлений характерною хвилястістю і шорсткістю рельєфу зламу. Враховуючи, що кількість циклів до руйнування робочих коліс досліджуваного насосного агрегату, певне на основі статистичних даних, становить від $3,7 \cdot 10^8$ до $1,04 \cdot 10^8$, так втомне руйнування відбувається в багатоцикловій області.

Для розрахунків напружено-деформованого стану робочого колеса методом кінцевих елементів було використано програмне забезпечення ANSYS. Для розв'язку завдання був обраний восьмивузловий структурний елемент SOLID185. Результати розрахунків напруженого стану на всіх досліджуваних режимах показали, що максимальні еквівалентні напруги виникають у положеннях 7, 8, а мінімальні - 1, 2, 3. З отриманих результатів випливає, що навантаження робочого колеса відбувається в області пружної деформації, тому що максимальні напруги

133 МПа не перевищують значення границі текучості, рівного 225 МПа для сталі 25Л при середній температурі експлуатації 350 °С. Дані результати підтверджують, що метал колеса зазнає багатоциклову втому.

Методом борирування можна підвищити в 2-2,5 рази стійкість робочих коліс з чавуну до гідро-абразивного зносу та до 5 разів зробити стійкішими до корозії.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Стан та організація охорони праці у сервісному центрі

Відповідальність за стан охорони праці на підприємствах покладено на директора ПП «Водорай» Дронова Олександра Павловича. Усі практичні заходи щодо охорони праці здійснюються відповідно до чинного законодавства.

Підготовка інструкцій з безпечного ведення робіт та ведення документів з охорони праці здійснюється власником приватного підприємства Дніпропетровського державного гірничого університету під час інструктажів, пройшли перевірок та на умовах договору. Займаються професіонали. Здача звітів.

Поки на підприємстві немає спеціалістів, охороною праці та її безпекою займається заступник директора з розвитку виробництва.

Розробляє заходи щодо поліпшення умов праці, перевіряє обладнання станцій технічного обслуговування та центрів обслуговування насосів. Провести інструктаж (на робочому місці, повторний, цільовий). Усі інші інструктажі (вступний, позаплановий) проводять позаштатні спеціалісти з охорони праці.

Працівники, особливо зварювальники та працівники ремонтних ділянок, працюють у шкідливих умовах і можуть захворіти, тому організовуються медичні огляди.

На жаль, на підприємствах немає спеціальних приміщень з охорони праці. Всі мирні заходи, пов'язані з охороною праці, проводяться на території сервісного центру або в кабінеті заступника директора.

Проте по всій території центру розміщені плакати безпечної роботи для виконання різноманітних робіт, пункти оснащені засобами пожежогасіння, працівники носять спеціалізований фірмовий одяг, який регулярно змінюється, я в ньому ходжу на роботу.

4.2. Вплив на навколишнє середовище термічної обробки та методи по забезпеченню їх мінімального впливу

Термічна обробка металів та експлуатація електрообладнання негативно впливає на навколишнє середовище, оскільки призводить до утворення великої кількості шкідливих газів, пилу та забрудненої води. Тому при експлуатації електрообладнання та виборі середовища для термічної обробки необхідно враховувати ступінь негативного впливу цих факторів на навколишнє середовище.

Основними чинниками, що згубно впливають на навколишнє середовище в тепловиробництві є:

1. Виділення тепла в біосферу - Майже вся енергія, яка споживається в печі, перетворюється на тепло і розсіюється в біосфері у вигляді втрат або під час охолодження нагрітих частин. Чим потужніша електропіч, тим важливішим стає цей фактор. Щоб зменшити тепловиділення, ми рекомендуємо: Покращує теплоізоляцію, зменшує будь-які втрати, використовує тепло вихлопних газів і охолоджуючу воду для технічних або спільних потреб.

2. Викиди шкідливих газів в атмосферу - Небезпечні гази виділяються в теплових цехах під час нагрівання, сушіння та інших операцій у контрольованій атмосфері. Для зменшення забруднення повітря вжито таких заходів:

3. Забруднення водою промисловими стічними водами, водами, що використовуються для гартування і миття виробів, охолодження грубих апаратів. Для очищення стічних вод проводяться такі заходи: Перед скиданням стічні води проходять різні методи очищення, які гарантують ГДК шкідливих речовин у воді. Після очищення, відстоювання та фільтрації стічні води скидаються у побутову каналізацію.

4. Використання водних ресурсів - Електроопалювальне обладнання

споживає велику кількість води, яка витрачається на охолодження елементів печей і обладнання. До нього пред'являються високі вимоги. Для зменшення забору води з джерел і забезпечення її якості слід використовувати систему оборотного водопостачання.

При обслуговуванні електропечей необхідно дотримуватися наступних вимог безпеки:

1. Усі частини електропечей під напругою, до яких може торкатися обслуговуючий персонал, повинні бути ізольовані або огорожені.

2. Корпуси та засоби керування, до яких підключено живлення, повинні бути заземлені.

3. Електричні печі повинні мати блокування, яке автоматично вимикає нагрівальний елемент при відкритті дверцят духовки.

4. При роботі з електронагрівальним обладнанням необхідно користуватися ізолюючими засобами індивідуального захисту: рукавичками, діелектричними калошами, килимками.

5. При обслуговуванні електронагрівального обладнання Правилами експлуатації електроустановок передбачені спеціальні заходи безпеки щодо захисту обслуговуючого персоналу від високих температур і теплового випромінювання. Усі механізми контролю та обслуговування печі повинні бути встановлені для захисту працівників від впливу високих температур і шкідливих газів. Різниця температур поверхні топки і навколишнього повітря не повинна перевищувати 45-600°C.

4.3. Заходи по безпечній роботі на дільниці

Рекомендації по приміщенню в якому працює стенд для випробування насосів.

Оскільки в якості очищуючих та розкоксовуючих речовин використовується

гас, робоче приміщення повинне бути добре провітрюваним. У зв'язку із цим бажано використовувати механічну вентиляцію (подача повітря за допомогою механічних побудників - вентиляторів).

Освітлення повинно задовольняти ряду вимог:

- повинно бути достатнім, щоб очі без напружень могли розрізнити розглянуті деталі;
- постійним у часі, для цього напруга в мережі не повинна коливатися більше чом на 4%;
- рівномірно розподіленим по робочих поверхнях, щоб не було різкого світлового контрасту.

Оскільки проведення випробувань не вимагає точних зорових робіт (контрольних), то в приміщенні можна використовувати тільки загальне освітлення, але воно повинне бути локалізоване (з урахуванням розташування робочого місця).

Таблиця 4.1 – Небезпечні й шкідливі виробничі фактори

Небезпечний або шкідливий фактор	Вплив фактора на організм	Заходу щодо усунення	
		Існуючі	Реалізовані в дипломній роботі
1	2	3	4
Застосування промислового струму напругою 220В, частотою 50 Гц	Термічний, електролітичний вплив, що виражається в опіках, розкладанні крові, мимовільному скороченні м'язів, у	Застосування заземлення, релейний захист або комбінація цих способів.	Заземлення стенда

Розряди статичної електрики	Мимовільне скорочення м'язів, у тому числі серця й легенів.	Заземлення, установка нейтралізаторів	Заземлення стенда.
Токсична рідина – гас	Роздратування слизуватої оболонки органів подиху, шкіри рук	Спеціальні пристосування й індивідуальні засоби захисту	Вентиляція
Пожежонебезпека (температура спалаху пар горючої рідини $t_{всп.} = 650 \text{ C}$)	Опіки, удушення продуктами згоряння.	Виконання заходів пожежної безпеки, інструктаж робітників, установка засобів	Виконання заходів пожежної безпеки, інструктаж робітників, установка засобів

Таблиця 4.2 – Санітарна характеристика приміщення

Найменування показників		Одиниця виміру	Величина показників
Оптимальна температура	- взимку	°C	17.20
	- влітку	°C	20.22
Відносна вологість:	- оптимальна	%	30.60
	- припустима	%	75
Нормована освітленість:			
- накаливання		Лк	150
- люмінесцентних		Лк	200
Швидкість руху повітря: оптимальна	- взимку	м/с	0,3
	- влітку	м/с	0,4
		м/с	0,4
припустима	- взимку	м/с	0,7

	- влітку		
Припустимий рівень шуму		дБА	<80
Площа виробничого приміщення на одного робітника		м ²	≥4.58
Кубатура приміщення на одного робітника		м ³	≥15

4.4. Висновок

В роботі розроблено заходи з покращення стану охорони праці на підприємстві, а саме впроваджено систему вентиляції на ділянці та організовано заземлення стенду для випробування відцентрових насосів.

Розроблені вимоги до приміщення в якому ремонтуються та випробовуються насоси.

5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Розрахунок собівартості ремонту робочих коліс насосів їх відновленням електроіскровим відновленням.

Розрахунок проведемо для програми ремонту 500 робочих коліс ВЗН на рік (програма середнього підприємства).

Вартість витратних матеріалів, тарифні ставки та нормативи взято за даними ПП "Водограй" м. Дніпро (Займається капітальним ремонтом насосних агрегатів).

Розрахуємо собівартість ремонту одного відцентрового заглибного насосу за базовою технологією (заміна коліс).

$$C_{\text{рем}} = ЗП + C_{\text{мзч}} + C_{\text{вв}} + А, \quad (5.1)$$

де ЗП – заробітна плата з нарахуванням, грн.;

$C_{\text{мзч}}$ – вартість матеріалів та запасних частин, грн.;

$C_{\text{вв}}$ – вартість виробничих витрат, грн.;

А – амортизаційні відрахування, грн..

Заробітна плата робітників розраховується за формулою:

$$ЗП = ЗП_{\text{год}} \cdot t_{\text{рем}}, \quad (5.2)$$

де $ЗП_{\text{год}}$ – годинна тарифна ставка слюсаря гідравліка 3 го розряду, грн.;

$t_{\text{рем}}$ – час ремонту одного насосу, год.

$$ЗП = 9,95 \cdot 4,2 = 41,79 \text{ грн.}$$

Витрати на запасні частини для насосу складуть $C_{\text{мзч}} = 1200$ грн. (колесо – 986 грн, перепускний клапан = 155 грн, комплект ГТВ – 59 грн. – за умови оптової закупки).

Виробничі витрати:

$$C_{\text{вв}} = (3\Pi_{\text{год}} \cdot t_{\text{то}}) + V_{\text{ел}}, \dots\dots\dots(5.3)$$

де $t_{\text{то}}$ – час, що витрачається на технічне обслуговування обладнання, год.
(0,5);

$V_{\text{ел}}$ – вартість електроенергії, що витрачається на роботу обладнання та на освітлення приміщення, грн..

$$V_{\text{ел}} = (W_{\text{випр}} \cdot t_{\text{випр}}) \cdot B, \quad (5.4)$$

де $W_{\text{випр}}$ – потужність, що витрачається на випробування 1 го насосу (22 кВт);
 $t_{\text{випр}}$ – час випробування насосу, (0,3 год);
 B – тариф на електроенергію, 1,99 грн/кВт.

$$V_{\text{ел}} = (22 \cdot 0,3) \cdot 1,99 = 11,09 \text{ грн}$$

Тоді:

$$C_{\text{вв}} = (41,79 \cdot 0,5) + 11,09 = 31,99 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування розраховуються за формулою:

$$A = \frac{B \cdot \lambda}{100 \cdot N}, \quad (5.5)$$

де B – балансова вартість обладнання, грн.;

N – програма ремонту;

λ – норма амортизації, %;

$$A = \frac{75000,0 \cdot 21,93}{100 \cdot 500} = 32,9 \text{ грн.};$$

Після визначення всіх складових визначимо собівартість ремонту насосу:

$$C_{\text{рем}} = 41,79 + 1200,0 + 31,99 + 32,9 = 1306,68 \text{ грн.}$$

За аналогічною методикою розраховуємо собівартість ремонту насосу з використанням електроіскрового нанесення матеріалів.

Заробітна плата робітників розраховується за формулою:

$$\text{ЗП} = 9,95 \cdot 5,4 = 53,73 \text{ грн.}$$

До витрат часу включено витрати на нанесення зносостійких покриттів, таким чином час ремонту збільшиться з 4,2 год до 5,4 год.

Вартість витрачених матеріалів:

$$C_{\text{мзч}} = N_e \cdot V_e + N_m \cdot V_m + N_a \cdot V_a + V_{\text{п}} \cdot N_{\text{п}}, \quad (5.6)$$

де N_e – норма витрати електродів, (0,3 кг);

V_e – вартість латунних електродів, (560 грн/кг);

N_m – норма витрати масла на доводку та притирку, (0,1л);

V_m – вартість масла (22 грн/л);

N_a – норма витрати абразиву для притирки та доводки (0,7 уп);

V_a – вартість абразиву (53 грн уп).

$V_{\text{п}}$ – вартість металополімерової пасти (Loctite) 1200 грн. 0,5 кг;

$N_{\text{п}}$ – норма витрати пасти для усунення слідів кавітаційного зносу (0,2 уп);

$$C_{\text{мзч}} = (0,3 \cdot 560,0) + (0,1 \cdot 22,0) + (0,7 \cdot 53,0) + (0,2 \cdot 1200,0) = 447,3 \text{ грн.}$$

Виробничі витрати:

$$C_{\text{вв}} = (\text{ЗП}_{\text{год}} \cdot t_{\text{го}}) + V_{\text{ел}}, \dots\dots\dots(5.7)$$

де $t_{го}$ – час, що витрачається на технічне обслуговування обладнання, год.
(0,5+0,3);

$V_{ел}$ – вартість електроенергії, що витрачається на роботу обладнання та на освітлення приміщення, грн..

$$V_{ел} = (W_{випр} \cdot t_{випр}) + (W_{покр} \cdot t_{покр}) \cdot B, \quad (5.8)$$

де $W_{покр}$ – потужність, , що витрачається на доводку та нанесення електроіскрового покриття (0,7 кВт);

$t_{покр}$ – час нанесення покриттів на колесо, та час доводки, (1,2 год);

B – тариф на електроенергію, 1,68 грн/кВт.

$$V_{ел} = ((22 \cdot 0,3) + (0,7 \cdot 1,2)) \cdot 1,68 = 12,5 \text{ грн}$$

Тоді:

$$C_{вв} = (53,79 \cdot 0,8) + 12,5 = 55,53 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування розраховуються за формулою:

$$A = \frac{B \cdot \lambda}{100 \cdot N}, \quad (5.5)$$

де B – балансова вартість обладнання, грн.;

N – програма ремонту;

λ – норма амортизації, %;

$$A = \frac{97000,0 \cdot 21,93}{100 \cdot 500} = 42,54 \text{ грн..;}$$

Після визначення всіх складових визначимо собівартість ремонту:

$$C_{\text{рем}} = 53,73 + 447,3 + 55,53 + 42,54 = 599,1 \text{ грн.}$$

Розрахунок економічної ефективності ремонту насосу НК методом електроіскрового оброблення.

Розрахуємо економічний ефект:

$$E = [(C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)] \cdot N, \quad (5.6)$$

де C_1, C_2 – собівартості ремонту, грн.;

K_1, K_2 – базові та проектні питомі капіталовкладення, грн.;

N – програма ремонту, шт..

Питомі капіталовкладення по базовому варіанту складуть:

$$K_1 = \frac{B + T_{\text{бм}}}{N_{\text{рем}}} = \frac{75000,0 + 0}{500} = 150,0 \text{ грн / шт} \quad (5.7)$$

де $T_{\text{бм}}$ – вартість будівельно – монтажних робіт, грн

по запропонованому варіанту:

$$K_2 = \frac{B + T_{\text{бм}}}{N_{\text{рем}}} = \frac{97000 + 3800}{500} = 201,6 \text{ грн / шт}$$

Економічний ефект становитиме:

$$E = [(1306,68 + 0,2 \cdot 150,0) - (599,1 + 0,2 \cdot 201,6)] \cdot 500 = 408730,0 \text{ грн}$$

Термін окупності додаткових вкладень (T_o), років:

$$T_o = \frac{B}{E} = \frac{97000}{408730,0} = 0,24 \text{ року} \quad (5.8)$$

Економічні показники та їх порівняльна оцінка наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розраховані показники економічного ефекту

Найменування	Існуючий	Розрахований
Роботи, що виконуються	Заміна РК	відновлення
Кількість робітників, чол..	1	1
Обсяг капіталовкладень, грн..	75000	75000+22000
Програма ремонту, шт.	500	500
Виробничі витрати , грн./шт.	31,99	55,53
Заробітна плата, грн./шт.	41,79	53,73
Витрати на матеріали та ЗП, грн./шт.	1200,0	447,3
Амортизація обладнання, грн./шт	32,9	42,54
Повна собівартість продукції, грн./шт	1306,68	599,1
Питомі капіталовкладення грн./шт	150,0	201,6
Економічний ефект, грн..	–	408730,0
Термін окупності вкладень, років	–	0,24

Проведені розрахунки вказують на доцільність впровадження технології відновлення деталей та їх зміцнення борируванням так як економія на запасних частинах становить близько 410000 грн. А термін окупності капітальних вкладень становитиме менше року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основним видом зношування деталей насосів є механічне зношування, як результат абразивного впливу твердих часток, що перебувають у свердловинній рідині. Поряд з механічним зношуванням, деталі насосів піддаються коррозійно-механічному та втомному зношуванню.

Аналіз роботи ВЗН і її основних частин показав, що у насосах найбільш часто відмовляють робочі колеса:

Аналіз аварійності залежно від матеріалу робочих щаблів: найбільша кількість аварій доводиться колеса, виготовлені їхнього чавуну 85,2 %, потім впливає порошковий матеріал для звичайних умов - 10,0 %, нерезист - 9,5 % і вуглепластик - 0,0 %.

У зв'язку з тем, що по сукупності факторів чавун, як матеріал коліс залишається найбільш раціональним варіантом, актуальним є завдання вдосконалювання технології одержання коліс із чавуну.

На основі аналізу якісних факторів показано, що існує значний потенціал поліпшення мікроструктурних і експлуатаційних характеристик робочих коліс, одержуваних за ливарною технологією.

За результатами фрактографічного аналізу зламу по розкритій тріщині було встановлено, що руйнування диска робочого колеса має втомний характер, обумовлений характерною хвилястістю і шорсткістю рельєфу зламу. Враховуючи, що кількість циклів до руйнування робочих коліс досліджуваного насосного агрегату, певне на основі статистичних даних, становить від $3,7 \cdot 10^8$ до $1,04 \cdot 10^8$, так втомне руйнування відбувається в багатоцикловій області.

Для розрахунків напружено-деформованого стану робочого колеса методом кінцевих елементів було використано програмне забезпечення ANSYS. Для розв'язку завдання був обраний восьмивузловий структурний елемент SOLID185. Результати розрахунків напруженого стану на всіх досліджуваних режимах показали, що максимальні еквівалентні напруги виникають у положеннях 7, 8, а мінімальні - 1, 2, 3. З отриманих результатів впливає, що навантаження робочого

колеса відбувається в області пружної деформації, тому що максимальні напруги 133 МПа не перевищують значення границі текучості, рівного 225 МПа для сталі 25Л при середній температурі експлуатації 350 °С. Дані результати підтверджують, що метал колеса зазнає багатоциклового втому.

Методом борирування можна підвищити в 2-2,5 рази стійкість робочих коліс з чавуну до гідро-абразивного зносу та до 5 разів зробити стійкішими до корозії.

В роботі розроблено заходи з покращення стану охорони праці на підприємстві, а саме впроваджено систему вентиляції на ділянці та організовано заземлення стенду для випробування відцентрових насосів.

Розроблені вимоги до приміщення в якому ремонтуються та випробовуються насоси.

Проведені розрахунки вказують на доцільність впровадження технології відновлення деталей та їх зміцнення борируванням так як економія на запасних частинах становить близько 410000 грн. А термін окупності капітальних вкладень становитиме менше року.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Евтушенко А.А. Развитие насосостроения в Украине [Текст]/ Евтушенко А.А., Ржебаев Э.Е., Швиндин А.И., Шифрин М.И.. // Машинобудування України. – 1995. – № 1. – С. 30–33.
2. Степанов А.И. Центробежные и осевые насосы: Теория, конструирование и применение / Степанов А.И.-М.: Машиностроение, 1990. - С. 50-80.
3. Овсянников Б.В. Высокооборотные лопаточные насосы / Овсянников Б.В. -М.: Машиностроение, 1995.-366 с.
4. Касьянов В.М. Гидромашины и компрессоры / Касьянов В.М. - М.: Недра, 1981, - 297 с.
5. Михайлов А. К. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления / А. К. Михайлов, В.В. Малюшенко. - М.: Машиностроение, 1981 - 256 с.
6. Елисеев Б.М. Расчет деталей центробежных насосов / Елисеев Б.М.-М.: Машиностроение, 1985. – 225 с.
7. Дирда В. И. Определение долговечности упругонаследственных сред с использованием обобщенных критериев разрушения / В. И. Дирда, А. В. Толстенко, Е. В. Калганков. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №4. – С. 4–7.
8. Поляков В.В. Насосы и вентиляторы: [Учеб. для вузов] / В.В. Поляков, Л.С. Скворцов.-М.: Стройиздат, 1990.-336 с.
9. Евтушенко А.А. Научно-техническое обеспечение новой концепции развития насосостроения в Украине / Евтушенко А.А. // Праці Міжнар. наук.-техн. конф. “Прогресивна техніка, технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва”. К.: НТУУ “КПІ”: Машиностроение – 1998. - Т. III. – 1998. – С. 244 – 248.
10. Яхненко С.М. Гідродинамічні аспекти блочно-модульного конструювання динамічних насосів / С.М. Яхненко //автореф. дис. на здобуття

наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.17 «Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати» – Суми, 2003. – 20 с.

11. Алексенко О.В. Розробка методів розрахунку та дослідження робочого процесу лопатевих насосів / Алексенко О.В. автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.17 «Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати» – Суми, 2006. – 20 с.

12. Калганков Є.В. Розробка технологічного процесу відновлення деталі [Методичні рекомендації] / Калганков Є.В. – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 75 с.

13. Дирда В.І. Ремонт машин та обладнання: / Дирда В.І. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.

14. Зимницкий В.А. Лопастные насосы / Зимницкий В.А. -Л.: Машиностроение, 1986. - 334 с.

15. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ. – 2017. – №133. – С. 66–74.

16. Центробежные консольные насосы общего назначения типов К и КМ: Каталог.-М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1997.-18 с.

17. Акбердин А.М. Пути снижения затрат электроэнергии на привод при сокращении объемов перекачки нефти по трубопроводам / Акбердин А.М., Беркутов И.С., Еронен В.И. // Реферативный журнал. 61. Насосостроение и компрессоростроение. Холодильное машиностроение. М.: ВИНТИ. – 2002. – № 7. – С. 5.

18. Knapp R.T. Accelerated field tests of cavitation intensity. Trans. ASME, vol. 80, January, 1958.

19. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ. – 2013. – №108. – С. 133-142.

20. Обобщенная теория износа упруго-наследственных сред / А. С.Кобец, В. И. Дырда, Е. В. Калганков, И. Н. Цаниди. // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2012. – №2. – С. 81–84.
21. Величко, С. А. Восстановление и упрочнение электроискровой наплавкой изношенных отверстий чугунных корпусов гидрораспределителей / Величко, С. А. дисс. канд. техн. наук - Саранск, 2000. - 239 с.
22. Ионов, П. А. Выбор оптимальных режимов восстановления изношенных деталей электроискровой наплавкой / П. А. Ионов. дисс. канд. техн. наук - Саранск, 1999. - 168 с.
23. Пат. № 144310 Україна, G01N 3/56 (2006.01) Машина тертя / Калганков Є.В.; Грачова В.М.; Косенко А.В. - u202001408; заявл. 20.03.2020; опубл. 25.09.2020, бюл. № 18; 4 с.
24. Пат. 119244 Україна, МПК7 МПК G01N 33/44 (2006.01). Пристрій для випробувань гумових елементів на стирання [Текст] / Дирда Віталій Іларіонович (UA); Калганков Євген Васильович (UA); Черній Олександр Анатолійович (UA); Цаніді Іван Миколайович (UA); Калганков Богдан Васильович (UA). u201602207; заявл. 09.03.2016 ; опубл. 25.09.2017, бюл. № 18- 4с.
25. Смирнов Н.И. Прочность и износостойкость насосов (расчет, испытания, технология) / Н.И. Смирнов, Н.Н. Смирнов // Материалы VII Всероссийской технической конференции «Производство и эксплуатация УЭЦН», г. Альметьевск, 1-4 ноября 2000, С. 1-13.
26. Калганков Е.В. Расчет долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмольных мельниц с учетом старения резины / Калганков Е.В. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб . наук . Праць , Ін-т геотехнічної механіки ім. М .С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – № 113. С. 181–202.
27. Бурумкулов, Ф. Х. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф. Х. Бурумкулов, П. П. Лезин, П. В. Сенин, В. И. Иванов, С. А. Величко, П. А. Ионов. - Саранск: Красный Октябрь, 2003. - 340 с.

28. Бурумкулов, Ф. Х. Ремонт гидравлических распределителей восстановлением деталей электроискровым методом / Ф. Х. Бурумкулов, П. В. Сенин, С. А. Величко, П. А. Ионов. - Саранск: Центр оперативной полиграфии ГОУСПО «Саранский промышленно-экономический колледж», 2007. - 154 с.

29. Золотых, Б. Н. Физические основы электроискровой обработки металлов /Б. Н. Золотых. -М.: Гостехиздат, 1993. - 107с.

30. Винокурова Л.Е. Основи охорони праці/ Винокурова Л.Е. – техн.. навч. Завкладів. – 2-ге вид. – К.: Вікторія, 2001. – 192 с.

31. Калганков Є.В. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОС "Бакалавр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" і дипломних робіт ОС "Магістр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" / Калганков Є.В. – Д.: ДДАЕУ, 2021. – 36 с.