



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

**Кваліфікаційна робота  
допущена до захисту**

Гарант ОПП «Інноваційні технології та  
системи захисту навколишнього  
середовища»

ПІКАРЕНЯ Д.С. \_\_\_\_\_

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми

«Інноваційні технології та системи захисту навколишнього  
середовища»

за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

на тему «Розробка заходів підвищення експлуатаційної надійності  
нагнітача коксового газу для запобігання наднормативних викидів  
діоксида карбону»

Керівник

Богомаз О.П.  
(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант від  
бази практики

Копійка А.Л.  
(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Здобувач

Олешкевич Є.Г.  
(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Кам'янське 2025

**mip** metinvest  
polytechnic

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»	
Факультет	гірничо-металургійний
Кафедра	безпеки праці та охорони довкілля
Освітньо-кваліфікаційний рівень	магістр
Спеціальність	183 Технології захисту навколишнього середовища
Освітньо-професійна програма	Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП «Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середовища»

Пікареня Д.С.

«27» грудня 2024 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Олешкевич Євген Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Розробка заходів підвищення експлуатаційної надійності нагнітача коксового газу для запобігання наднормативних викидів діоксиду карбону

керівник роботи Богомаз Ольга Петрівна, доцент кафедри БПОД, Ph.D.

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

затверджені наказом Університету від 14.10.2024 р. №238/14.10.2024

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 03.02.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики природокористування та захисту навколишнього середовища, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПРАТ «Камет-Сталь», результати власних досліджень, матеріали зібрані під час інженерно-природоохоронної практики тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань):

ВСТУП. 1 ОБЛАДНЕННЯ ЦЕХІВ ВЛОВЛЮВАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКТІВ КОКСУВАННЯ. 1.1 Загальні відомості про призначення нагнітачів коксового газу. 1.2 Види нагнітачів коксового газу. 1.3 Характеристика машинного відділення цеху уловлювання. 1.4. Аналіз останніх досліджень щодо технології відкачки коксового газу. 2 ОЦІНКА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ. 2.1 Дослідження основних факторів, що впливають на надійність роботи нагнітачів 2.2 Вплив вібрації на роботу нагнітачів коксового газу. 2.3. Заходи з усунення вібрації. 2.4 Вібраційні дослідження нагнітача. 2.5. Врівноваження роторів нагнітачів коксового газу. 2.6. Побудова дерев відмов та булевих тотожностей. 2.7. Заходи підвищення експлуатаційної надійності нагнітача коксового газу 3

ФІЛЬТРАЦІЇ МАСТИЛА У МАСЛОСИСТЕМІ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ. 3.1 Система маслопостачання нагнітача коксового газу. 3.2 Властивості мастил, що застосовуються у системах маслопостачання. 3.3. Технології поводження з відпрацьованим мастилом. 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ. 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНИХ ВТРАТ.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентація Microsoft Power Point в кількості 16 слайдів.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Богомаз Ольга Петрівна, доцент кафедри БПОД, Ph.D.
2	Богомаз Ольга Петрівна, доцент кафедри БПОД, Ph.D.
3	Богомаз Ольга Петрівна, доцент кафедри БПОД, Ph.D.
4	Богомаз Ольга Петрівна, доцент кафедри БПОД, Ph.D.
5	Богомаз Ольга Петрівна, доцент кафедри БПОД, Ph.D.

7. Дата видачі завдання 27.12.2024

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Опис обладнання цехів вловлювання та переробки продуктів коксування (розділ 1)	28.12.2024 – 08.01.2025
2	Оцінка факторів, що впливають на надійність нагнітача коксового газ (розділ 2)	28.12.2024 – 13.12.2025
3	Фільтрації мастила у маслосистемі нагнітача коксового газу (розділ 3)	03.01.2025 – 17.01.2025
4	Охорона праці та правила експлуатації нагнітача коксового газу (розділ 4)	08. 01.2025 – 22.01.2025
5	Розрахунок економічних втрат (розділ 5)	15. 01.2025 – 21.01.2025
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	21.01.2025 – 28.01.2025
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	28.01.2025 – 10.02.2025
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.02.2025 – 16.02.2025

Здобувач

Олешкевич Є.Г.

Керівник

Богомаз О.П.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 107 с., 28 рис., 7 таблиць, 23 літературних джерел.

**Об'єкт дослідження:** нагнітач коксового газу

**Предмет дослідження:** параметри надійності нагнітача коксового газу

**Мета кваліфікаційної роботи:** підвищення експлуатаційної надійності нагнітача коксового для запобігання наднормативних викидів діоксиду карбону.

У вступі розглянуто проблемну ситуацію вивчення технічного стану нагнітача коксового газу.

В теоретичному розділі - розглядається конструкція газодувки, що використовується в коксохімічній промисловості, висвітлюються його компоненти та експлуатаційні вимоги, підкреслюється критичне значення надійної роботи для функціонування коксових печей і хімічних заводів, а також для забезпечення споживачів коксовим газом.

В дослідницькому розділі розглядаються основні фактори, що впливають на надійність нагнітача коксового газу, заходи з усунування вібрації та заходи підвищення експлуатаційної надійності нагнітача коксового газу.

У технологічному розділі проведено аналіз роботи маслосистеми нагнітача коксового газу та мастила, яке використовують під час експлуатації. Розглядаються технології поводження з відпрацьованим мастилом, розглядається технологія забезпечення ефективного очищення турбінних масел від води та механічних домішок

В розділі «Охорона праці» розглянуті питання охорони праці під час ремонту та експлуатації, правила експлуатації нагнітача коксового газу.

В економічному розділі розраховані економічні втрати під час зупинки нагнітача коксового газу через стан мастила в маслосистемі нагнітача коксового газу.

В висновках наведені основні результати кваліфікаційної роботи.

**НАГНІТАЧ КОКСОВОГО ГАЗУ, КОМПРЕСОР, ГАЗОВУВКА,  
МАСЛОСИСТЕМА, МАСТИЛО, НАДІЙНІСТЬ.**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1 ОБЛАДНЕННЯ ЦЕХІВ ВЛОВЛЮВАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКТІВ КОКСУВАННЯ .....	10
1.1 Загальні відомості про призначення нагнітачів коксового газу...	10
1. 2 Види нагнітачів коксового газу .....	14
1.2.1 Нагнітач 0-750-22 .....	14
1.2.2 Нагнітачі типу 750-23 і 1200-25.....	16
1.2.3 Нагнітачі E-1800-21-1 і E-1800-23-1.....	18
1.3 Характеристика машинного відділення цеху уловлювання.....	19
1.4 Аналіз останніх досліджень щодо технології відкачки коксового газу. ....	21
РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ .....	24
2.1 Дослідження основних факторів, що впливають на надійність роботи нагнітачів .....	24
2.2 Вплив вібрації на роботу нагнітачів коксового газу.....	31
2.3 Заходи з усунення вібрації .....	33
2.3.1 Перевірка врівноваженості ротора.....	34
2.3.2 Перевірка центрування.....	36
2.3.3 Відставання опорних лап циліндра від фундаментних рам... 38	
2.3.4 Вплив на вібрацію рідини, що потрапляє у циліндр.....	39
2.4 Вібраційні дослідження нагнітача .....	40
2.5 Врівноваження роторів нагнітачів коксового газу.....	44
2.5.1 Статичне балансування коліс ротора .....	45
2.5.2 Методика динамічного балансування .....	50
2.6 Побудова дерев відмов та булевих тотожностей .....	51
2.6.1 Побудова дерева відмов нагнітача коксового газу.....	51
2.6.2 Дерево відмов в булевих тотожностях .....	54
2.6.3 Аналіз надійності нагнітача коксового газу .....	55

2.7 Заходи підвищення експлуатаційної надійності нагнітача коксового газу.....	58
РОЗДІЛ 3 ФІЛЬТРАЦІЇ МАСТИЛА У МАСЛОСИСТЕМІ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ .....	64
3.1 Система маслопостачання нагнітача коксового газу .....	64
3.2 Властивості мастил, що застосовуються у системах маслопостачання.....	65
3.3 Технології поводження з відпрацьованим мастилом. ....	69
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ .....	80
4.1 Загальні питання.....	80
4.2 Підготовка нагнітача до запуску.....	82
4.3 Перехід з 1-го на 2-й нагнітач.....	83
4.4 Пуск нагнітач з електроприводом .....	85
4.5 Обслуговування нагнітачів під час експлуатації.....	86
4.6 Аварійна зупинка нагнітача .....	88
4.7 Техніка безпеки під час ремонтних робіт .....	89
4.8 Небезпечні речовини, які застосовуються у виробництві цеху уловлювання продуктів коксування .....	92
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНИХ ВТРАТ.....	101
ВИСНОВКИ. ....	103
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	105

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним із найвідповідальніших агрегатів коксохімічного підприємства є нагнітач, від надійної роботи якого і правильної експлуатації залежить надійність роботи всього коксохімічного підприємства в цілому. У результаті процесу коксування в камерах залишається кокс, а леткі хімічні продукти коксування виділяються у вигляді складної суміші парів і газів - коксового газу [11].

Призначення нагнітача – це відсмоктування газу з камер коксувальних печей, транспортування через апаратуру хімічних цехів заводу і подача споживачам.

Таким чином, вивчення технічного стану та підвищення надійності нагнітача коксового газу задля поліпшення екологічних, економічних та технічних показників є актуальним науково-технічним завданням.

**Об'єкт дослідження:** нагнітач коксового газу

**Предмет дослідження:** параметри надійності нагнітача коксового газу

**Мета та завдання кваліфікаційної роботи.** Метою роботи є підвищення експлуатаційної надійності нагнітача коксового для запобігання наднормативних викидів діоксиду карбону.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

1. Проаналізувати останні дослідження щодо технології відкачки коксового газу.
2. Оцінити фактори, що впливають на надійність нагнітача коксового газу.
3. Розробити методи та способи підвищення надійності вузлів та агрегатів нагнітачів коксового газу.

4. Провести оцінку екологічної, операційної та економічної ефективності запропонованих заходів.

За результатами досліджень опубліковано тези доповіді на Конференції MININGMETALTECH Гірничо-металургійний сектор та металургійний сектор: інтеграція бізнесу, технологій та освіти, Том 1, 28-29 листопада 2024 року

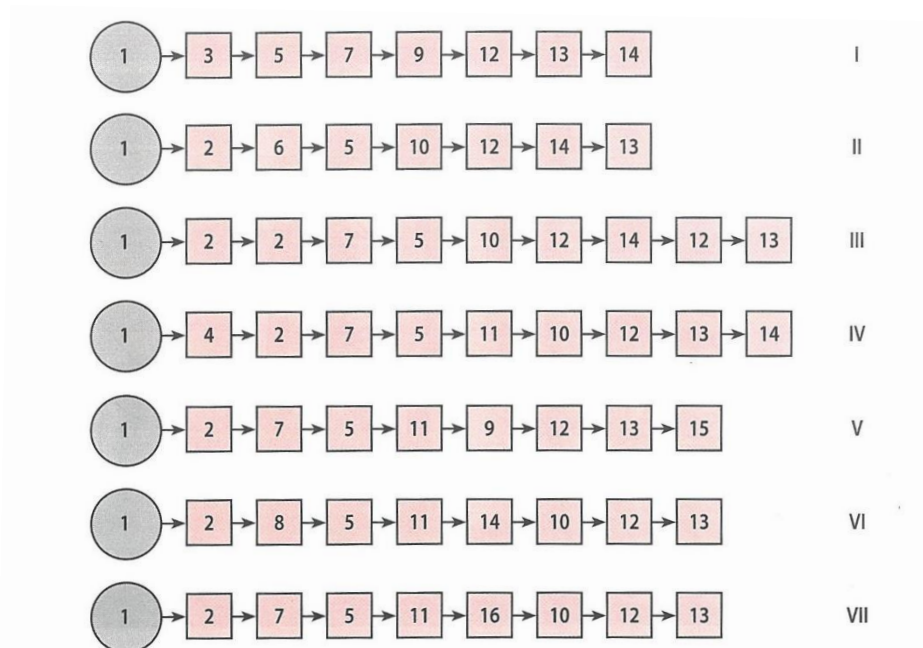
# РОЗДІЛ 1 ОБЛАДНЕННЯ ЦЕХІВ ВЛОВЛЮВАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКТІВ КОКСУВАННЯ

## 1.1 Загальні відомості про призначення нагнітачів коксового газу.

Одним із ключових агрегатів коксохімічного підприємства є нагнітач, від стабільної роботи якого залежить ефективність функціонування всього виробництва. В процесі коксування в камерах залишається тверда маса коксу, а леткі хімічні продукти утворюються у вигляді складної суміші парів і газів — коксового газу. Основна функція нагнітача полягає у відведенні цього газу з камер коксувальних печей, його транспортуванні через хімічну апаратуру заводу та подачі споживачам [6].

Зазвичай газодувки розміщують безпосередньо після холодильників. Газопроводи та обладнання перед ними (на всмоктувальній стороні) працюють під розрядженням, тоді як апаратура після газодувки (на нагнітальній стороні) знаходиться під тиском.

При виборі місця установки газодувки враховуються кілька важливих аспектів. Оскільки несправності газопроводів, фланцевих з'єднань або апаратури, що працюють під розрядженням, можуть призвести до потрапляння повітря всередину системи і утворення вибухонебезпечної суміші, пріоритет ставлять на зменшення кількості обладнання в зоні розрядження. Крім того, необхідність відсмоктування великого об'єму газу вимагає використання більш потужного двигуна для роботи газодувки, що враховується при її проектуванні та виборі [6].



1 - сепаратор, 2 - трубчастий газовий холодильник, 3 - холодильник безпосередньої дії, 4 - апарат повітряного охолодження, 5 - газодувка, 6 - скруббер Вентурі, 7 - електрофільтр, 8 - нафталінопровиварник, 9 - сатуратор, 10 - аміачний абсорбер, 11 - скруббер для вловлювання HCN, 12 - кінцевий газовий холодильник, 13 - бензольний скруббер, 14 - вакуум-карбонатне сіркоочищення, 15 - миш'яково-содове сіркоочищення, 16 - аміачне сіркоочищення.

Рисунок 1.1 – Варіанти розміщення технологічних установок для уловлювання хімічних продуктів коксування

Опір, що виникає при транспортуванні газу через апаратуру хімічного заводу за допомогою газодувки, може бути визначений такими значеннями (мм вод. ст.) [10]:

Опір до газодувки (на всмоктування):

Газопровід - від газозбірника до газодувки	150 – 250
Газові холодильники, паралельно включені	150–250
Дросельна засувка (при електричному приводі)	50 - 150
<i>Разом</i>	<i>350 – 650</i>

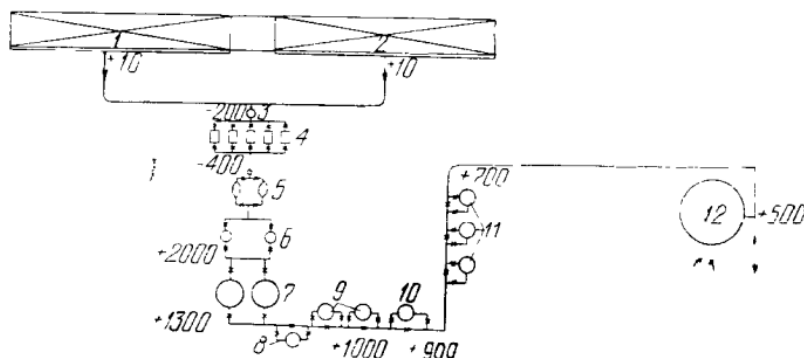
Опір після газодувки (на лінії нагнітання):

Газопровід - від газодувки до газгольдера	300 – 400
Електрофільтр для очищення газу від смоли	40 – 50

Сатуратор для уловлювання аміаку	500 – 600
Газовий холодильник після сатуратора	70 – 120
Скрубери для уловлювання сірководню	150 – 200
Скрубери для уловлювання бензолу	150 – 200
Кінцевий тиск газу перед газгольдером	400 – 500
<i>Разом</i>	<i>1600–2100</i>

Сумарний натиск – це різниця між тисками газу на вході до газодувки та на виході з неї.

У даних умовах загальний натиск, створюваний газодувкою, має складати від 2000 до 2800 мм водяного стовпа. Схему газового тракту та зміни тиску газу наведено на рисунку 1.2.



1 - газозбірник коксової батареї №1; 2 – газозбірник коксової батареї № 2; 3 – газовий сепаратор; 4 – газові холодильники; 5 – газодувки; 6 – електрофільтри; 7 – сатуратори; 8 - газовий холодильник перед сірчаними скруберами; 9 - скрубери для уловлювання сірководню; 10 – кінцевий холодильник для газу; 11 - скрубери для уловлювання бензолу; 12 – газгольдер

Рисунок 1.2 – Схема газового тракту та зміна тиску газу в мм вод. ст.

Характеристика газодувки визначається її продуктивністю, тобто кількістю газу, що пропускається (м<sup>3</sup>/год), та загальним натиском, який вона забезпечує. Загальний натиск включає сумарний

опір, що долається на лінії всмоктування і нагнітання. Об'єм газу обраховується з урахуванням умов температури 0°C і тиску 760 мм рт. ст. Оскільки до газодувки надходить вже охолоджений газ із незначним вмістом водяної пари, фактичний об'єм газу майже не відрізняється від об'єму за стандартних умов [1].

На коксохімічних заводах використовуються кілька типів газодувки: лопатеві, барабанні або ротаційні, а також відцентрові, які ще називають турбогазовдуками [12].

Продуктивність лопатевих та ротаційних газодувки зазвичай не перевищує 7000–8000 м<sup>3</sup>/год. Ці пристрої вирізняються простотою обслуговування і високою надійністю, що робило їх популярними на невеликих коксохімічних заводах.

Однак на сучасних коксохімічних підприємствах перевага віддається виключно турбогазовдукам.

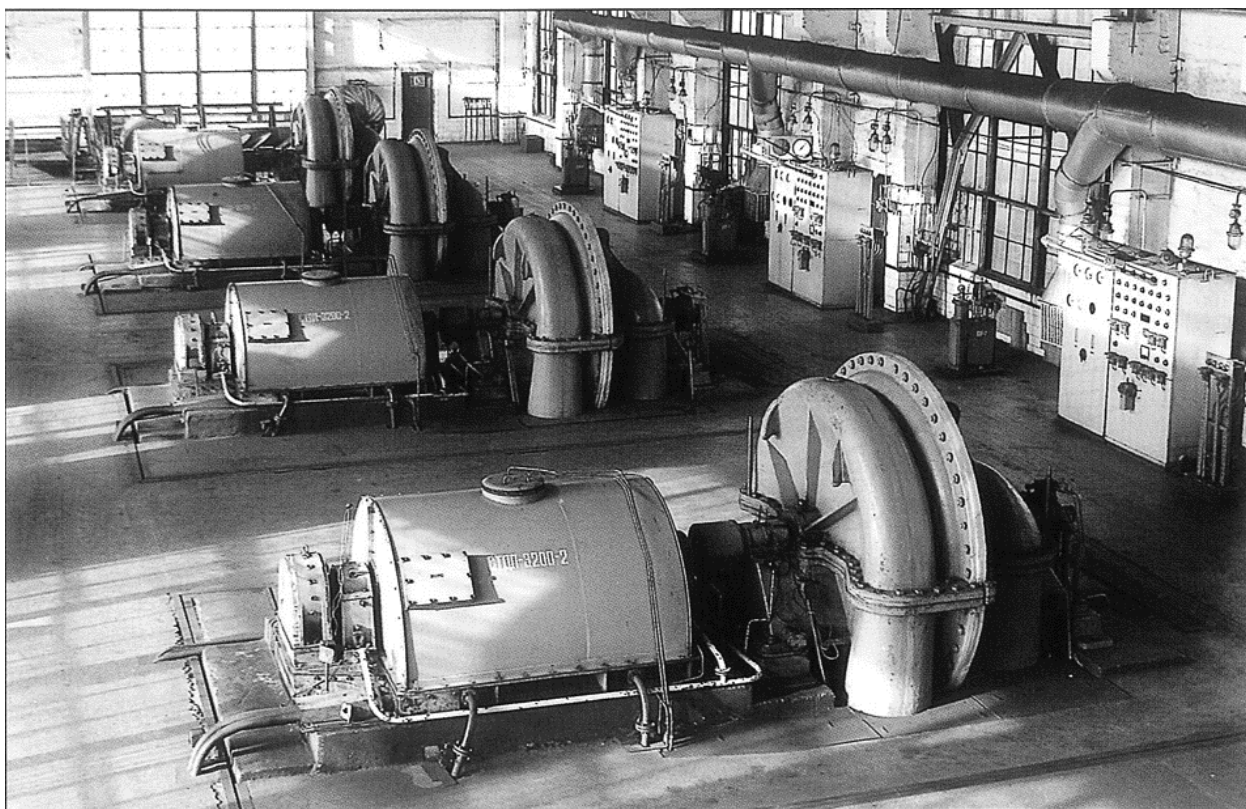


Рисунок 1.3 – Машинне відділення цеху уловлювання продуктів коксування № 2 ПрАТ «Авдіївський коксохімічний завод»

## 1. 2 Види нагнітачів коксового газу

### 1.2.1 Нагнітач 0-750-22

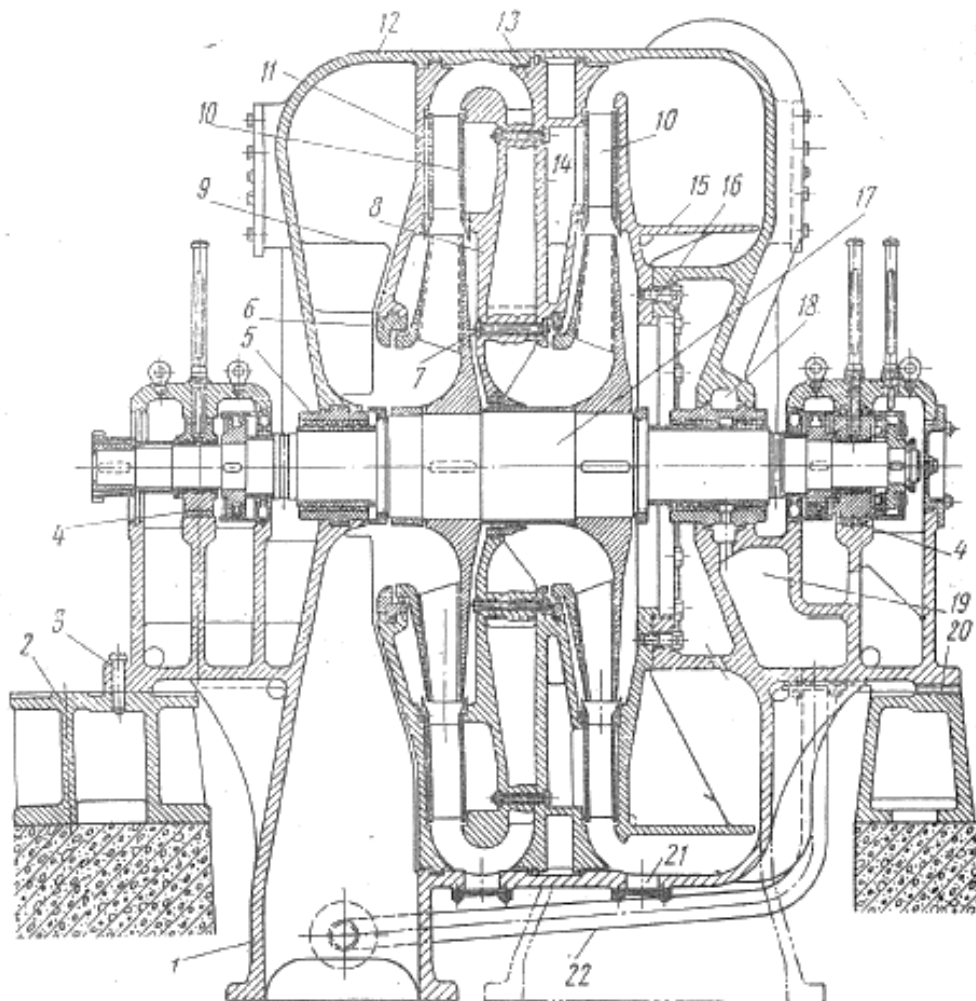
Нагнітач моделі 0-750-22, як і більшість нагнітачів для коксового газу, є одноциліндровою машиною з двома ступенями стиснення. Корпус нагнітача, виготовлений із чавуну (позиція 12 на рисунку 1.4), має горизонтальний роз'єм. Всмоктувальний патрубок прямокутного перерізу (позиція 1) розташований з боку опорного підшипника і спрямований донизу. У його конструкції передбачені напрямні ребра (позиція 9), які забезпечують рівномірний потік газу до всмоктувального колеса першого ступеня. Нагнітальний патрубок знаходиться з боку опорно-упорного підшипника і також направлений донизу.

Корпус нагнітача встановлено на чавунних литих рамах 2, які монолітно залиті в бетон. З боку опорного підшипника корпус жорстко закріплений до рами за допомогою болтів та додатково зафіксований конічною шпилькою 3. При тепловому розширенні корпус нагнітача зміщується в напрямку опорно-наполегливих підшипників, які мають можливість вільно рухатися по пришабреній поверхні рами вздовж прямокутної шпонки 20.

У нагнітальній секції корпусу передбачено внутрішнє конструктивне рішення у вигляді равлика (позиція 15), який виготовлено окремим литим елементом, складеним із двох частин. Цей равлик кріпиться до фланця, утвореного торцевою поверхнею корпусу, шляхом використання болтових з'єднань (позиція 16).

Конструкція нагнітача включає одну діафрагму (позиція 13), яка забезпечує спрямоване підведення газу між першим і другим робочими колесами. Крім того, чавунна діафрагма (позиція 11),

виготовлена методом лиття, розміщена зі сторони всмоктувального отвору [14].



1 – всмоктувальний патрубок, 2 – чавунні литі рами, 3 – конічна шпилька, 4 – підшипники, 5 – ущільнення лабиринтове, 6 – ущільнення діафрагмове, 7 – болти, 8 – диск зі зворотними лопатками, 9 – напрямні ребра, 10 – дифузор, 11 – лита чавунна діафрагма, 12 – корпус нагнітача, 13 – діафрагма, 14 – основний диск, 15 – внутрішній «равлик», 16 – болти, 17 – вал ротора, 18 – кільцева виточка, 19 – камера, 20 – прямокутна шпонка, 21 – дренажні отвори, 22 – зрівнювальна труба

Рисунок 1.4 – Нагнітач 0-750-22

Діафрагма 13 складається з двох елементів: диска 8 із зворотними напрямними лопатками та основного диска 14, які з'єднуються між собою за допомогою болтів 7. Верхня частина

діафрагми разом із диском фіксується в кришці циліндра за допомогою спеціальних шайб. Нижня частина розташована в розточці циліндра і може бути легко демонтована після зняття ротора.

Після кожного робочого колеса встановлено дифузор 10, який перетворює кінетичну енергію потоку газу на потенційну, забезпечуючи підвищення статичного тиску.

Конструкція дифузора забезпечує можливість регулювання положення лопаток в межах кута  $\pm 40$  градусів відносно їхнього розрахункового положення. Така зміна кута нахилу лопаток дозволяє ефективно коригувати характеристичні параметри роботи нагнітача [14].

Нагнітач оснащений діафрагмовими ущільненнями типу 6 і кінцевими лабіринтовими ущільненнями типу 5, які повинні виготовлятися зі сплаву свинцю з бабітом.

З метою запобігання витoku газу в машинний зал, в конструкції ущільнення з боку нагнітання передбачено кільцеву виточку 18. Ця виточка сполучається з камерою 19, з якої просочений газ відводиться через зрівнювальну трубу 22 у всмоктувальний патрубок нагнітача.

У нижній частині корпусу передбачено дренажні отвори 21. Вал ротора 17 встановлено на двох підшипниках 4, причому кронштейни для цих підшипників відлиті як єдине ціле з нижньою половиною корпусу нагнітача.

### 1.2.2 Нагнітачі типу 750-23 і 1200-25

Ці нагнітачі оснащені приводом, який працює від турбіни або асинхронного електродвигуна через підвищувальний редуктор. На рисунку 1.5 зображено розріз нагнітачів моделей 750-23 та 1200-25, які мають однакову конструкцію. Ця конструкція відрізняється від

попередньої моделі нагнітача 0-750-22 (випускалася до 1952 року) такими особливостями [15]:

- корпус нагнітача (позиція 6) доповнений технологічним вертикальним роз'ємом (позиція 5) на додачу до горизонтального роз'єму (позиція 1);

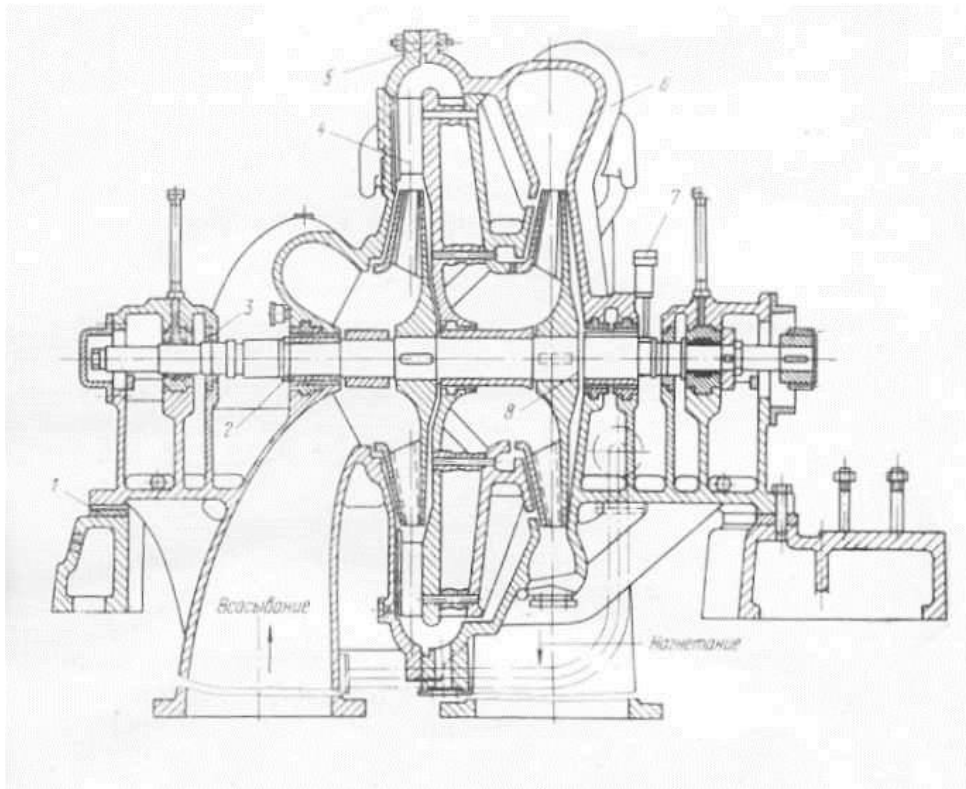
- діафрагми виконані з додатковим вертикальним роз'ємом;
- лопатковий дифузор (позиція 4) зі змінним положенням напрямних лопаток монтується виключно після робочого колеса I ступеня.

- Ротор не оснащений дисками для кріплення балансувальних вантажів. Деталі, насаджені на вал, фіксуються стопорним кільцем 2, а з протилежного боку утримуються буртом 8.

- На стороні всмоктувального патрубку передбачена напрямна шпонка, яка дозволяє компенсувати теплове розширення корпусу нагнітача вздовж осі.

- Нагнітач оснащений пристроєм 7, призначеним для звукової сигналізації у випадку осьового зміщення ротора.

- Модифіковано конструкцію ущільнювальних масляних кілець 3, що дозволило скоротити витік мастила.



1 - роз'єм, 2 - стопорне кільце, 3 - масляні кільця, 4 - лопатковий дифузор, 5 - технологічний вертикальний роз'єм, 6 - корпус нагнітача, 7 - пристосування для звукової сигналізації, 8 - борт

Рисунок 1.5 – Нагнітачі 750-23 і 1200-25

Нагнітачі 750-23 і 1200-25-1 характеризуються вищим к. к. д. і меншою масою конструкції (на 35%), ніж нагнітач 0-750-22.

### 1.2.3 Нагнітачі E-1800-21-1 і E-1800-23-1

Нагнітачі E-1800-21-1 і E-1800-23-1 представлені на рисунку 1.6.

Попри те, що за своєю конструкцією вони майже не відрізняються від нагнітачів моделей 750-23 і 1200-25-1, їх було суттєво модернізовано, що дозволило забезпечити відповідність міжнародним стандартам [12].

Особливостями їхньої конструкції є такі аспекти:

- Покращена плавність проточної частини, що забезпечує вищий коефіцієнт корисної дії (ККД);

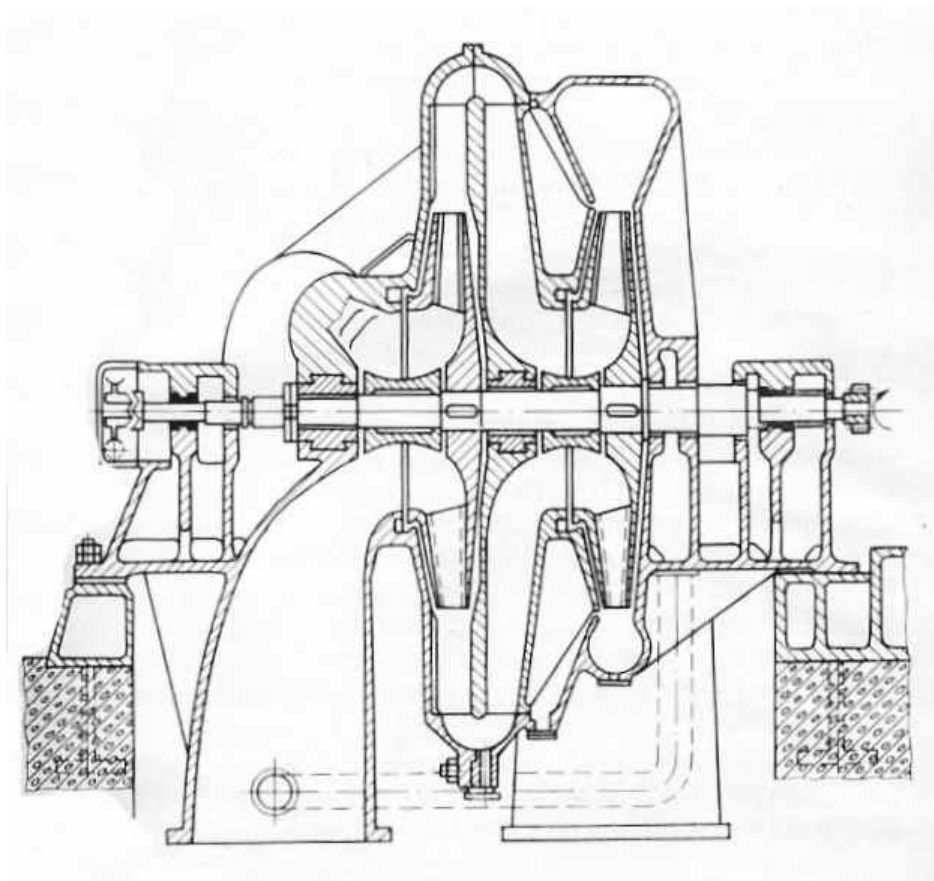


Рисунок 1.6 – Нагнітачі E-1800-21-1 та E-1800-23-1

- Використання для виготовлення робочих лопаток глибоколегованої нагартованої сталі марки IX18H9T, яка істотно подовжує строк експлуатації ротора;
- Інтеграція спеціалізованих систем захисту та автоматизації, що дозволяє реалізувати автоконтроль, значно спростити процес запуску машини та забезпечити ефективність переходу між режимами роботи.

### 1.3 Характеристика машинного відділення цеху уловлювання

Машинне відділення призначене для рівномірного відсмоктування коксового газу із газозбірників коксових печей, переміщення його через усі трубопроводи та апарати відділення уловлювання та передачі його підвищувальної станції або

споживачам за допомогою газодувних машин (газодувки, нагнітачі, ексгаустери) [2].

Двигун газодувних машин встановлюється одним валом з машиною. Газопровід та апаратура, розташовані перед газодувкою, знаходяться під розрідженням (4-6 кПа), а після газодувки – під надлишковим тиском 27-30 кПа. Продуктивність нагнітача може бути 120 тис. м<sup>3</sup>/год і вище. На виході з КХП коксовий газ повинен мати надлишковий тиск 4-6 кПа. За рахунок роботи нагнітача відбувається нагрівання коксового газу на 6–15 °С. Поряд зі своєю основною функцією, газодувки забезпечують виділення з коксового газу у відцентровому полі до 60–80 % (мас.) парів води та аерозолів смоли, які виносять із відділення первинного охолодження.

Рівномірне та повне відсмоктування коксового газу від коксових печей забезпечується автоматичною підтримкою заданого розрідження перед ПГХ регуляторами. При паровому приводі нагнітача регулятори передають керуючий імпульс на вентиль подачі пари в парову турбіну, а при електричному приводі – прикривають (привідкривають) засувку на газопроводі, що всмоктує, або байпасі нагнітувача [8].

Коливання тиску в газовому тракті при налагодженій системі регулювання, зазвичай, не перевищують 0,1–0,2 кПа, що достатньо для всього газового тракту, крім вузла газозбірника. Точність регулювання тиску у газозбірнику має бути не менше 10–20 Па. Тому безпосередньо за газозбірником на відповідному від пещей газопроводі встановлюють самостійний дросельний клапан, з'єднаний із самостійним регулятором. До роботи нагнітача коксового газу висуваються суворі вимоги, оскільки від них залежить робота коксових печей та хімічних цехів, а також постачання споживачів коксовим газом.

Для надійної роботи машинного відділення необхідно мати:

- резервні нагнітачі та ротор, законсервовані належним чином і завжди готові до запуску для заміни, що вийшли з ладу;
- постійно працюючу систему змащення підшипників і сполучену систему охолодження циркулюючого мастила;
- систематично контрольовану систему стоку конденсату з нагнітача та прилеглих до них ділянок газопроводів;
- сигнальні пристрої, що попереджають про аварійне припинення подачі мастила на охолодження підшипників та про перевищення допустимої температури підшипників.

Вся працююча газова апаратура має бути герметичною, оскільки коксовий газ із вмістом повітря в межах від 6 до 30 % (об.) вибухонебезпечний. Всі газопроводи та апарати повинні, по можливості, розміщуватися поза приміщеннями та мати надійні гідрозатвори та конденсатовідвідники. У кліматичних умовах із значними сезонними перепадами зовнішніх температур трубопроводи повинні мати систему термокомпенсації, а гідрозатвори та конденсатовідвідники – систему обігріву [2].

1.4 Аналіз останніх досліджень щодо технології відкачки коксового газу.

Публікацій по темі дослідження досить не багато, тому що будь-які зміни потребують великих фінансових та технічних ресурсів. Разом з тим, наявні наукові дослідження направлені на розкриття наступних питань.

- вплив параметрів робочого режиму на ресурс та надійність нагнітача коксового газу;
- дослідження причин виникнення вібрацій та методів їх усунення в нагнітачах коксового газу;

- аналіз методів підвищення надійності та ресурсу нагнітачів коксового газу;
- розробка системи прогнозування залишкового ресурсу нагнітача коксового газу;
- оптимізація конструкції нагнітача коксового газу з метою підвищення його надійності;
- вдосконалення системи фільтрації мастила нагнітача коксового газу.

Роботи з підвищенні надійності роботи нагнітачів коксового ведуться постійно, але серйозного прориву здійснено не було. Для широкого висвітлення цього питання потрібні великі капіталовкладення і досить багато часу, тому що в технологічну схему роботи нагнітача постійно вводять нові елементи і його робота стає складнішою.

Очікується, що найближчими роками буде розроблено нові, ще більш ефективні та екологічно чисті методи відкачування коксового газу. Це дасть змогу підвищити ефективність коксохімічного виробництва, знизити його негативний вплив на навколишнє середовище і зробити його більш конкурентоспроможним.

Технологія вакуумного відкачування коксового газу з використанням ежекторів. Принцип роботи полягає у тому, що вакуумне відкачування коксового газу з використанням ежекторів ґрунтується на принципі Бернуллі. Пар подається під високим тиском у сопло ежектора. Швидкість потоку пари збільшується під час проходження через сопло. За рахунок збільшення швидкості потоку створюється область низького тиску в ежекторі. Коксовий газ із коксової камери засмоктується в ежектор за рахунок різниці тиску. Суміш коксового газу і пари йде на очищення і подальше використання [21].

До переваг даного способу віднесено: простоту конструкції, низьку вартість, широкий діапазон застосування, відсутність необхідності змащення.

Серед недоліків виділяють високу витрату пари та гучність.

Наразі на коксохімічних підприємствах України немає можливості перейти на нові, більш економічні, методи видалення коксового газу з батарей. Для цього потрібна часткова зміна технологічного процесу підприємства, яка призведе до тимчасової повної зупинки підприємства. Тому на підприємствах України продовжують працювати НКГ різних модифікацій.

## РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ

### 2.1 Дослідження основних факторів, що впливають на надійність роботи нагнітачів

Одним із ключових показників, що визначають надійність нагнітачів, є їхня здатність тривалий час працювати без вимушених зупинок або порушень виробничого процесу.

Статистичні дані свідчать, що вихід з ладу нагнітачів у більшості випадків пов'язаний із руйнуванням роторів, що становило 35% усіх аварій. У багатьох випадках пошкодження роторів починалися з утворення тріщин у лопатках. Найбільша кількість несправностей була зафіксована на нагнітачах моделі 0-1200-21. Лопатки зазвичай ламалися або тріскалися в зоні полиць, прилеглих до основного диска зі сторони входу газу (рис. 2.1).

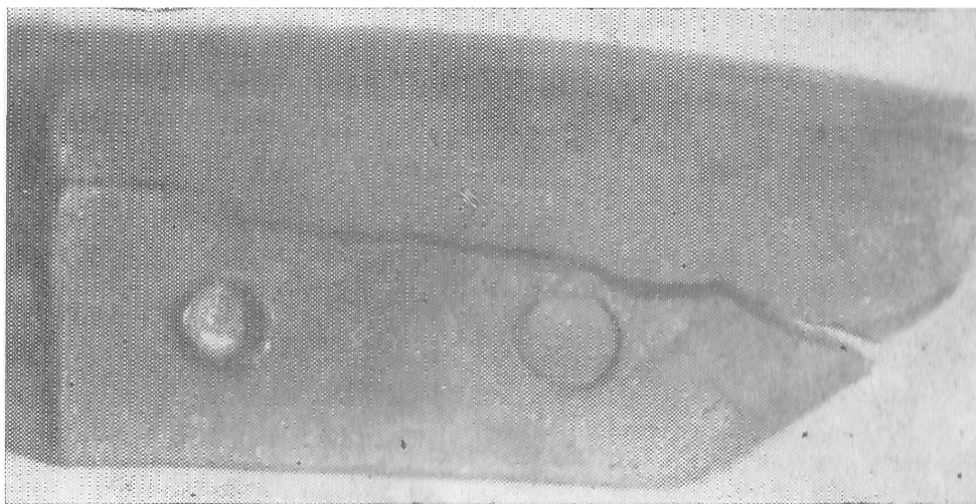


Рисунок 2.1 – Руйнування полиці робочої лопатки

Для усунення несправностей, за рекомендацією, робочу швидкість обертання ротора знизили з 4300 до 3870 об/хв. Це дало

зможу зменшити напругу у всіх елементах робочих коліс на 15%. Однак таке зниження швидкості обертів не забезпечувало стабільної роботи нагнітачів, і утворення тріщин на лопатках продовжувалося. Точних причин пошкоджень лопаток встановити не вдалося. Спеціальні дослідження виявили, що одним із чинників руйнування лопаток, виготовлених зі сталі 30ХГСА для роторів 0-1200-21, було корозійне розтріскування, що виникало під час тривалої експлуатації в умовах контакту з коксовим газом. Візуальний огляд поверхні зламу показав значне окиснення. Під час мікроскопічного аналізу нетравлених мікрошліфів у зоні дефектів були виявлені ділянки локальної корозії [14].

За рекомендацією лопатки зі сталі 30ХГСА були замінені на лопатки зі сталі 1Х18Н9Т у нагартованому стані.

Під час експлуатації роторів із лопатками зі сталі 1Х18Н9Т дефекти в лопатках не були виявлені. Особливу увагу при проведенні ремонтних оглядів слід приділяти стану заклепок. Найбільші напруження на зріз спостерігаються в периферійних заклепках, які фіксують лопатки до основного диска. Заклепки, які з'єднують ділянку лопатки з основним диском у зоні входу газу, піддаються значним напруженням на розтяг. Зі збільшенням відстані від вхідних перерізів рівень напруги у заклепках поступово знижується.

Основні напруження у заклепках утворюються під впливом відцентрових сил. При цьому суттєве додаткове напруження на розтяг виникає в процесі виконання клепання. Технологія клепання здійснюється вручну із використанням електронагріву заклепок контактним методом, при якому спостерігається нерівномірний розподіл температури вздовж довжини заклепки. Верхня частина заклепки, що виступає над поверхнею диска, нагрівається до температури 850°C, тоді як нижня частина, розташована між диском і замикаючою головкою, прогрівається значно менше, зазвичай без

утворення видимих слідів втечі структури. Температура нагріву заклепок часто визначається візуально, що може призводити до випадків їхнього перегріву. Під час охолодження після завершення клепання у матеріалі заклепок формуються значні напруження розтягувального характеру.

Напруги в заклепках виникають також через неякісну пригонку поверхонь, що з'єднують лопатки з диском, а також через деформації лопатки під час її склепування. Практика показує, що ці напруги можуть досягати значного рівня, особливо в заклепках першого ряду (кореневих) із боку входу газу поблизу основного диска [13].

Під час обертання колеса відцентрові напруження поєднуються із залишковими напруженнями, які виникають після виконання процесу клепання. У випадку, коли сума цих напружень перевищує межу текучості матеріалу, у заклепках починають проявлятися пластичні деформації, що призводить до їх витягування. Як наслідок, між полицею лопатки та поверхнею диска формується зазор. Найбільш інтенсивні пластичні деформації зазвичай відбуваються під час першого запуску.

Під час кожного запуску накопичуються пластичні деформації, що з часом може стати причиною руйнування заклепок. У процесі кожного ремонту слід обов'язково контролювати щільність прилягання полиць лопаток до дисків. Для заклепок із діаметром 8,5 мм допустимий зазор між полицею лопатки та диском не повинен перевищувати 0,04 мм (щуп 0,05 мм не має проникати) на відстані 8,5 мм від осі заклепки. У решті зон дозволяється зазор, що не перевищує 0,2 мм.

Під час заміни лопаток зі сталі 30ХГСА на лопатки зі сталі 1ХГ8Н9Т у роторах типів 0-1200-21 та 1200-25 було виявлено витягування перших рядів заклепок із диска. Після збільшення діаметра заклепок з 8,5 до 10 мм ця проблема зникла. Значне

зниження напруженості в перших рядах заклепок забезпечило також підрізування вхідної кромки лопаток. При цьому напруга в лопатках з боку покривного диска залишилася незмінною, а з боку основного диска трохи зменшилася.

Заклепки виготовляють зі сталі марки 13Н5А. Під впливом коксового газу вони піддаються значній корозії, що призводить до утворення тріщин під час експлуатації роторів (рис. 2.2) та подальшого руйнування [14].

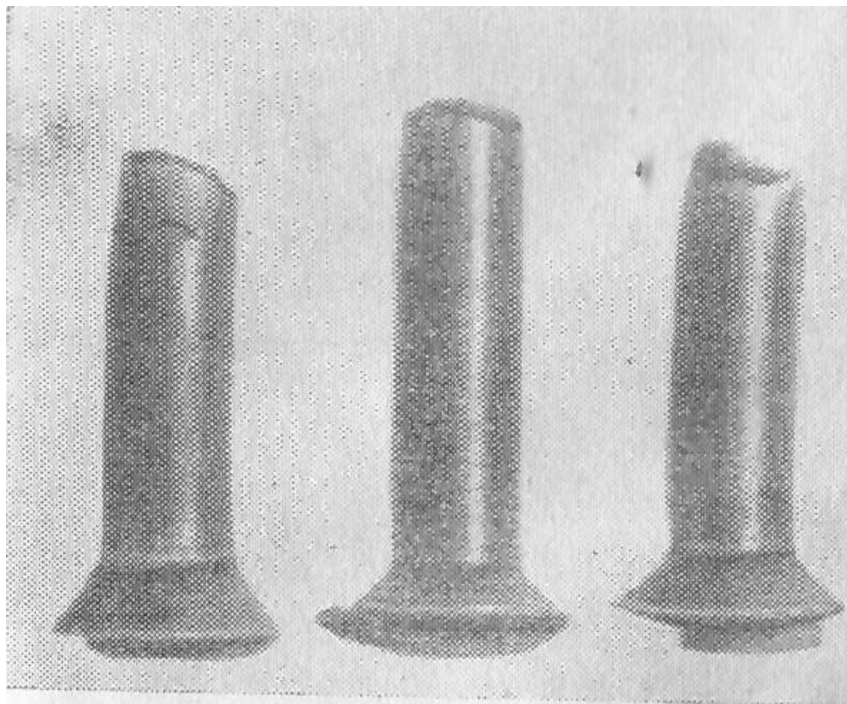


Рисунок 2.2 – Дефектні заклепки

Під час мікроскопічного аналізу циліндричної частини заклепки на її поверхні, аналогічно до виявленого у лопатках зі сталі 30ХГСА, було зафіксовано явище корозійного розтріскування.

Надійність заклепувального з'єднання має надзвичайно важливе значення, оскільки вихід з ладу навіть однієї заклепки може спричинити перевантаження сусідніх елементів і ослаблення

кріплення деталей колеса. Відомі випадки, коли через поломку заклепок відривалися великі фрагменти або навіть цілі лопатки.

Під час огляду роторів нагнітачів у процесі ремонтних робіт були виявлені тріщини на периферійних ділянках основного диска та дисків, що його покривають. Проведені дослідження засвідчили, що інтенсивні резонансні коливання деталей колеса виникають виключно поблизу виходу, після чого їхня амплітуда швидко зменшується зі збільшенням відстані від зовнішнього діаметра.

Найбільш вразливими зонами робочих коліс є області основного та покривного дисків, що знаходяться поблизу периферійного отвору для заклепки. У більшості випадків тріщина починає формуватися на внутрішній поверхні покривного диска у верхній частині краю периферійного отвору (рис. 2.3). Після цього вона поступово розповсюджується по всій товщині диска і досягає його зовнішньої межі. Утворена тріщина призводить до перевантаження нижнього краю отвору з тріщиною, а також ділянок біля верхнього краю заклепувальних отворів прилеглих прольотів колеса. Це підвищує ризик виникнення додаткових тріщин по периферії дисків, що становить значну небезпеку [12].



Рисунок 2.3 – Вид поломки покривного диска

Для запобігання подальшому руйнуванню доцільно виконати підрізання диска з наявними тріщинами.

Місцеві вирізи викликають суттєве перевантаження перерізів у районі другого заклепувального отвору, що спричиняє утворення нових тріщин.

Застосування зварювальних технологій для усунення тріщин потребує проведення спеціальної термічної обробки, що є складним завданням в умовах експлуатації. Експлуатація дисків із наявними тріщинами є недопустимою, оскільки це може спричинити повне руйнування диска (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Руйнування покривного диска

Капітальні ремонти нагнітачів і їхніх приводів виконують щорічно, а профілактичні огляди роторів між капітальними ремонтами здійснюють один-два рази на рік. Подовження міжремонтних періодів і зменшення кількості повторних оглядів роторів сприяють підвищенню надійності технологічного процесу заводу. У більшості підприємств повторні огляди роторів проводять раз на рік [16].

Вчасне виявлення дефектів у компонентах робочого колеса нагнітачів дозволяє запобігти аваріям. Застосування ультразвукової дефектоскопії для перевірки робочих лопаток і дисків забезпечує можливість знаходження дефектів, які не завжди помітні при звичайному візуальному огляді.

## 2.2 Вплив вібрації на роботу нагнітачів коксового газу

Нагнітачі коксового газу є агрегатами, від яких залежить нормальна робота всього коксохімічного виробництва.

Основним критерієм, за яким можна судити ступінь надійності нагнітача під час експлуатації, є його вібраційний стан. Значна кількість дефектів у роботі окремих вузлів та деталей проявляється у підвищеній вібрації.

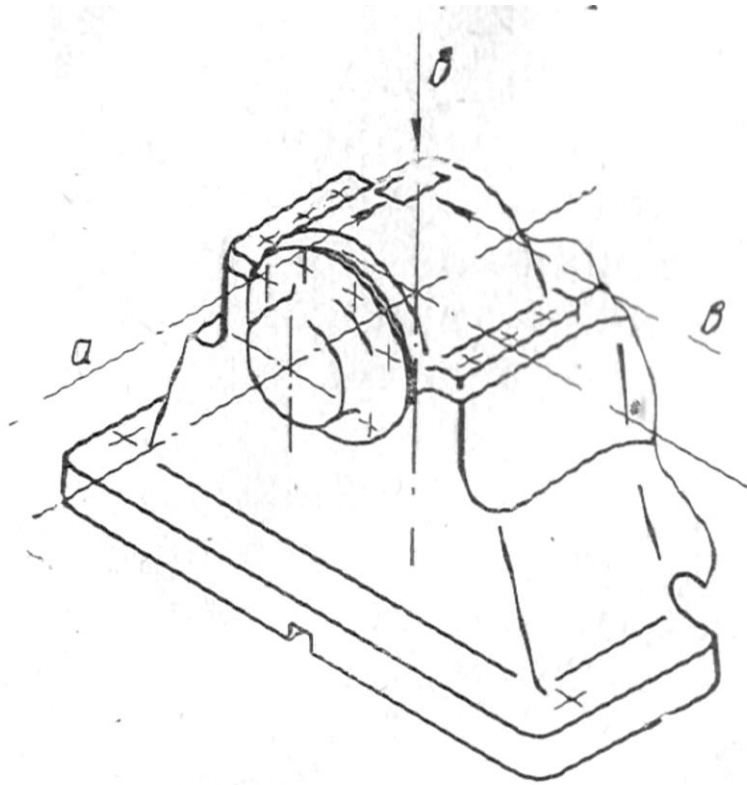
Однією із центральних проблем, від вирішення якої залежить збільшення надійності та працездатності нагнітачів коксового газу, є зниження вібрації до безпечних меж.

Великі досягнення у розвитку теорії та практики конструювання турбомашин відбито у вдосконаленні вузлів і деталей нагнітачів.

В останні роки розроблено методику дослідження підвищених вібрацій турбомашин та надано рекомендації щодо методів їх усунення.

Застосування новітньої електронної апаратури у виробничих умовах вивчення вібрацій і динамічного балансування за формами коливання дозволило поліпшити вібраційний стан нагнітачів коксового газу.

Вібраційний стан нагнітачів коксового газу, як і інших роторних машин, визначають за рівнем вібрації підшипників. Вимірювання вібрації слід виконувати на верхніх кришках опорних та опорно-упорних підшипників над поперечною віссю симетрії вкладиша. Амплітуди вібрації слід вимірювати у трьох напрямках — вертикальному, поздовжньому та поперечному, тобто перпендикулярно до осьового напрямку (рис. 2.5). [13]



а - осьовий, б - вертикальної, в - поперечної

Рисунок 2.5 – Місця та напрямки замірів вібрації на підшипниках

Нагнітачі коксового газу працюють зі швидкістю обертання 3000-4800 об/хв. Для машин з робочою швидкістю обертання вище 3000 об/хв немає єдиних норм допустимої вібрації.

Норми вібрації повинні відображати сучасний рівень можливостей зниження вібрації. Занадто жорсткі норми можуть спричинити невиправдані витрати на виконання трудомістких робіт з конструювання, виробництва, монтажу та ремонту нагнітачів.

Не слід допускати роботу нагнітачів з підвищеними вібраціями, оскільки це може призвести до їхнього руйнування.

Незважаючи на те, що нормами передбачено здійснення виміру вібрації тільки на кришках підшипників, для повної оцінки вібраційного стану агрегату необхідно знати величини вібросміщення на корпусі, фланці горизонтального роз'єму, опорних лапах та фундаменті.

Конструктивно більшість нагнітачів виконано так, що стільці підшипників відлиті разом з нижньою частиною циліндра і є його продовженням. Тому вібрація ротора легко передається корпусу, що іноді вібрує більше, ніж підшипники.

Вібровимірювальна апаратура дозволяє вимірювати вібрацію не тільки підшипників, але інших елементів у статорі, але і ротора, що обертається. Зазвичай вібрація валу ротора нагнітача значно перевищує вібрацію підшипників, а отже, вал зазнає значної згинальної напруги. Це також один із критеріїв, що визначають можливість експлуатації нагнітача [4].

Допуски на вібрацію нормують лише верхню межу величини усунення. Слід мати на увазі, що вібрація буває не тільки оборотною частотою, але іноді до її складу входять складові вищих і нижчих гармонік. При малому питомому тиску валу на підшипники часто виникають низькочастотні коливання, які відрізняються здатністю раптово виникати та швидко наростати. Тому, якщо в спектрі частот виявлено складові низькочастотної вібрації, слід виконати комплекс робіт зі збільшення питомого тиску з боку валу на вкладиш підшипника для знищення вібрації низькочастотної [5].

Робота нагнітачів за наявності низькочастотних складових неприпустима.

### 2.3 Заходи з усунення вібрації

Робота нагнітачів коксового газу з вібрацією, що перевищує норму, без попереднього ретельного огляду та перевірки всіх вузлів та деталей неприпустима навіть протягом короткого часу, оскільки може призвести до тяжких наслідків і навіть руйнування нагнітача.

При появі вібрації в процесі нормальної промислової експлуатації або під час пуску після монтажу або капітального

ремонту нагнітач слід зупинити та виконати необхідні роботи щодо зниження вібрації.

### 2.3.1 Перевірка врівноваженості ротора

Основною причиною підвищеної вібрації нагнітачів є неуврівноваженість ротора. Як правило, ротори нагнітачів під час капітального ремонту або при монтажі перевіряють на балансувальному верстаті [18].

При розтині циліндра нагнітача, ротор слід очистити від смоли і ретельно перевірити на балансувальному верстаті.

Порушення врівноваженості ротора може статися внаслідок:

- нерівномірного зносу дисків та лопаток робочих коліс при стоянковій корозії без консервації ротори;
- нерівномірного відкладення смоли на дисках та робочих лопатках, а також у уступах думмісу;
- виникнення прогину валу ротора;
- ослаблення посадки на валу робочих дисків, муфт, думмісів;
- порушення кріплення врівноважувальних вантажів на дисках;
- недостатніх зазорів між маточиною дисків»;
- пружного прогину валу ротора на номінальних оборотах,

Перші шість порушень врівноваженості ротора досить добре описані у спеціальній літературі та можуть бути усунені відомими у ремонтній практиці методами. Пружний прогин валу не завжди очевидний, і для його визначення та запобігання потрібні спеціальні знання про форми коливання валів. І тут на верстаті ротор показує відсутність небалансу.

Однак на номінальних оборотах з'являється значна вібрація та специфічний гул. Таке явище спостерігається у нагнітачів типу 0-

1200-21 під час встановлення вантажів у балансувальні диски. Ротори цих нагнітачів двоколісні з гнучким валом. Критична швидкість обертання ротора 2700 об/хв за робочої швидкості 4300 об/хв. Як правило, небаланс на роторі створюється робочими колесами в результаті їх нерівномірного зносу або недостатньої точності статичного балансування перед посадкою на вал.

При балансуванні ротора на верстаті він поводить себе як абсолютно тверде тіло. Будь-який небаланс можна врівноважити встановленням вантажів у будь-яких двох довільно вибраних площинах. Тому на роторі типу 0-1200-21 передбачено два диски, розташовані біля опорних шийок, що мають Т-подібний паз для встановлення вантажів, що врівноважують.

Якщо при балансуванні на верстаті значні врівноважуючі вантажі (400 г і більше) встановлені в пази цих дисків, то на номінальних оборотах на вал діятимуть великі згинальні моменти, що створюються неврівноваженістю робочих коліс і вантажів, встановлених в інших площинах, тобто в дисках біля шийок. Це призведе до пружного прогину валу та усунення його центру з осі обертання, що рівносильне появі небалансу.

На підставі вищевикладеного слід зазначити, що врівноваження ротора на верстаті з установкою вантажів Т образні пази дисків неприпустима. Врівноважуючі вантажі слід встановлювати в площинах початкового небалансу, тобто приклепувати до основних дисків із внутрішньої сторони.

Аналогічні явища бувають і з нагнітачами, у яких ротори складаються із трьох і більше дисків. Для їхнього врівноваження можна рекомендувати наступну технологію.

Спочатку ротор треба врівноважити на верстаті з двома колесами при встановленні вантажів на основні диски. Потім посадити третє колесо і врівноважити остаточно ротор установкою

вантажів тільки цьому колесі, оскільки вони внесли додатковий небаланс на раніше збалансований ротор.

Помилковість установки дисків для балансувальних вантажів біля шийок валу далеко від місць фактичного застосування первинного небалансу враховано в наступних конструкціях нагнітачів. На роторах нагнітачів типу 1200-25, 750-23, Е-1800-23 диски для встановлення вантажів, що врівноважують, поблизу шийок відсутні [14].

### 2.3.2 Перевірка центрування

Вібрація нагнітачів може виникнути в результаті значного розцентрування напівмуфт валу нагнітачів з валами приводу-електродвигуна або редуктора.

Незважаючи на те, що між ротором нагнітача та його приводом ставлять зубчасту муфту, що допускає зміщення та перекіс осей, значні відхилення від допустимих норм можуть викликати вібрацію та інтенсивне зношування зубів зірочок і коронок.

При центруванні по напівмуфт слід враховувати, що стільці електродвигуна нагріваються більше, ніж стільці нагнітач, тому електродвигун слід встановлювати в холодному стані нижче, ніж нагнітач [5].

Правильне припасування опорних підшипників запобігає виникненню вібрацій.

Верхній та бічні зазори між шийкою валу та бабітовою заливкою повинні залишатися в межах допусків. Між вкладишем та кришкою підшипника необхідний натяг.

Можна рекомендувати замість циліндричної овальної розточку вкладишів, яка запобігає виникненню низькочастотних вібрацій на масляній плівці.

Дуже добре зарекомендували себе підшипник з овальним розточуванням і повністю залитим бабітом верхньою половиною вкладиша (рис. 2.6). При цьому обведення масла через верхню частину підшипника холодильник здійснюється через внутрішню камеру. Такі підшипники добре витримують вібрацію та їх особливо успішно застосовують у високооборотних нагнітачах. Шийка валу повинна по всій довжині прилягати до бабіту нижнього вкладиша по дузі  $60^\circ$  у підшипників з циліндричним розточуванням і на смузі, 8-12 мм у підшипників з еліпсним розточуванням. [22]

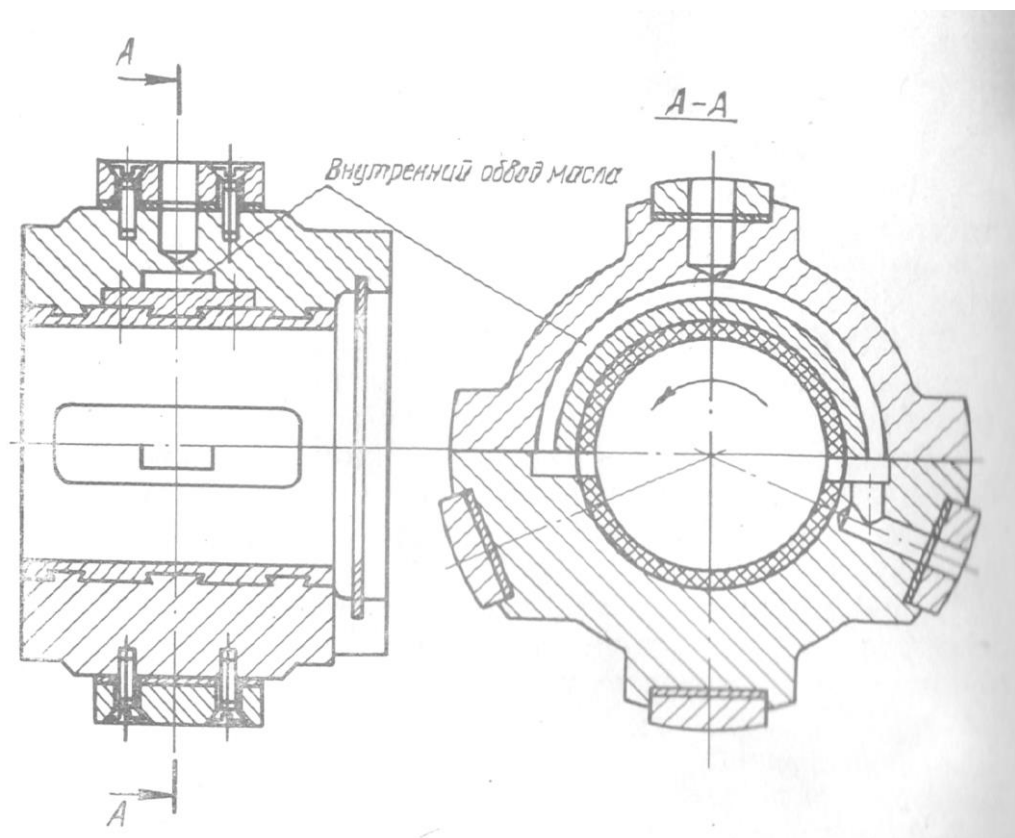


Рисунок 2.6 – Опорний підшипник

При односторонньому торканні шийки валу (перекіс підшипника вздовж осі) відбувається передача навантаження від ротора на

підшипник за центром опори, у результаті можуть виникнути осьові вібрації.

Діяння ротора про нерухомі елементи статора відбувається в місцях мінімальних зазорів між ротором і циліндром. Такими місцями у нагнітачах коксового газу є кінцеві, проміжні та дискові лабиринтні ущільнення.

Щоб уникнути іскріння в ущільненнях при випадкових зачепленнях циліндра ротором, усі ущільнення заливають сплавом свинцю з бабітом. Сплав на свинцевій основі пластичний, легко шабриться при припасуванні і добре приробляється під час випадкових зачіпань. Незважаючи на це, якщо при заміні ущільнень або припасуванні нового ротора для обмеження витоку газу залишають малі зазори в ущільненнях, дотик циліндра і ротора призводять до вібрації [12].

Бувають випадки, коли нагнітач протягом кількох годин працюють з підвищеною вібрацією і ущільнення за цей час не притираються до валу і тільки після розкриття циліндра і шабрування ущільнень з доведенням зазорів до норми вібрація припиняється.

### 2.3.3 Відставання опорних лап циліндра від фундаментних рам.

Нагнітач коксового газу спираються на залиті в бетон фундаментні рами за допомогою лап, відлитих заодно з циліндром.

З боку муфти лапа притискається до рами болтами, а з боку наполегливого підшипника вона вільно ковзає по рамі при розширенні циліндра внаслідок зміни температури.

При монтажі прагнуть, щоб опорні поверхні лап щільно прилягали до фундаменту, що досягається шабруванням. Однак у період експлуатації трапляються випадки відставання лап від

фундаментних плит. Таке явище може бути результатом жолоблення циліндра при нерівномірному прогріві, а також при неправильному приєднанні нагнітальних і всмоктувальних газопроводів [14].

Після встановлення та прицентрування нагнітачів до приводу газопроводи знизу підводять до фланців нагнітачів так, щоб встановився рівномірний зазор по всьому периметру з'єднання. Зазор, що залишився між фланцями, 1,5-2,0 мм слід усунути за допомогою стягування болтами.

При такому з'єднанні циліндр додатково сприймає частину навантаження від газопроводу, що під'єднується. Це забезпечує умови, за яких зусилля від газопроводу не будуть піднімати вгору циліндр та відривати лапи від фундаментних плит.

Для перевірки та виключення підйому циліндра газопроводом фланці слід розпустити та виконати необхідні виміри, після яких внести виправлення.

#### 2.3.4 Вплив на вібрацію рідини, що потрапляє у циліндр

Якщо у циліндр потрапила рідина, це може викликати вібрацію. У нижніх точках циліндра в кожному ступені, а також у нагнітальному і всмоктувальному колінах газопроводу передбачені дренажі, через які відводяться волога та смола, що випадають із газу [16].

Нерідко перерізи дренажів недостатні для відведення всієї рідини та колеса підхоплюють конденсат. У момент підхоплення та прокачування рідини на нагнітачі відчувається вібрація, яка зникає після звільнення ротора від рідини. Для визначення місць скупчення рідини в нагнітачі слід перевірити всі дренажі та гідрозатвори, відповідність діаметрів, зливних труб, передбачених у проекті,

наявність ухилів труб від нагнітача до гідрозатворів, а також плавність колін.

Після того як зроблено ретельну перевірку всіх вузлів і деталей розібраного нагнітача та обслуговуючий персонал переконався у відсутності дефектів, можна приступати до його збирання.

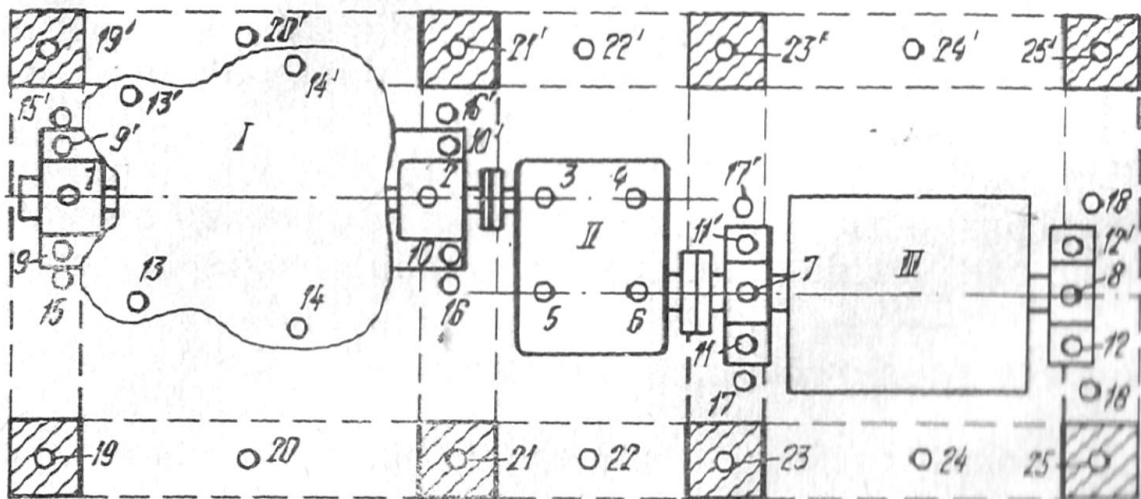
Перевірка нагнітач у розібраному стані є першим етапом обстеження агрегату, при якому можна виявити ряд причин вібрації. Якщо після пуску нагнітач виявлено, що вібрація ще досить висока, приступають до другого етапу обстеження - вібраційним дослідженням нагнітача.

#### 2.4 Вібраційні дослідження нагнітача

Вібраційні дослідження ведуть за спеціально розробленою для даного нагнітача програмою, що передбачає виконання цілої серії дослідів та їх аналіз.

Для вібраційних досліджень застосовують вібровимірювальні прилади, з яких з малими похибками визначають амплітуду та фазу вібрацій.

Вібродослідження слід починати з контрольного виміру вібрацій нагнітача (рис. 2.7). Метою цих вимірювань є встановлення загального рівня вібрацій агрегату та відхилень від нормованих допусків. Вимірювання слід проводити при нормальному навантаженні нагнітача. Режим випробувань повинен бути встановлений не менше ніж за дві години до початку вимірювань [5].



I – нагнітач, II – редуктор, III – електродвигун,

1-8 – підшипники, 9-12 – опорні частини підшипників, 13,14 – циліндри нагнітача, 15-25 – елементи фундаменту. Точки вимірів, позначені цифрою без штриха, розташовані з одного боку осі, зі штрихом – з іншого

Рисунок 2.7 – Схема розміщення точок вимірювання вібрацій нагнітача з електроприводом

У результаті контрольних вимірювань повинні бути виявлені найбільш вібруючі елементи для підбору матеріалів, на підставі яких можна було б виявити найбільш ймовірні причини вібрації, треба виміряти амплітуди, фази та частоту коливань підшипників, валів, циліндрів та фундаменту.

На нагнітачах з електроприводом зняття швидкісних характеристик дещо утруднено, так як підвищення числа оборотів від нуля до номінальних значень відбувається за 15-25 секунд і протягом цього часу неможливо виконати необхідні виміри. Тому рекомендується всі виміри під час роботи нагнітача з оборотами нижче номінальних виконувати на вибігу машини після вимкнення електродвигуна. При цьому засувки на лініях всмоктування та нагнітання мають бути закриті.

Характеристики роботи з номінальними оборотами можна зняти до вимкнення електродвигуна при малому навантаженні нагнітача. Бажано, щоб датчики були стаціонарно закріплені на кришках підшипників.

Якщо пуск здійснюється після огляду ротора і є впевненість, що ротор чистий, нагрівати нагнітач не слід, щоб уникнути прогину ротора.

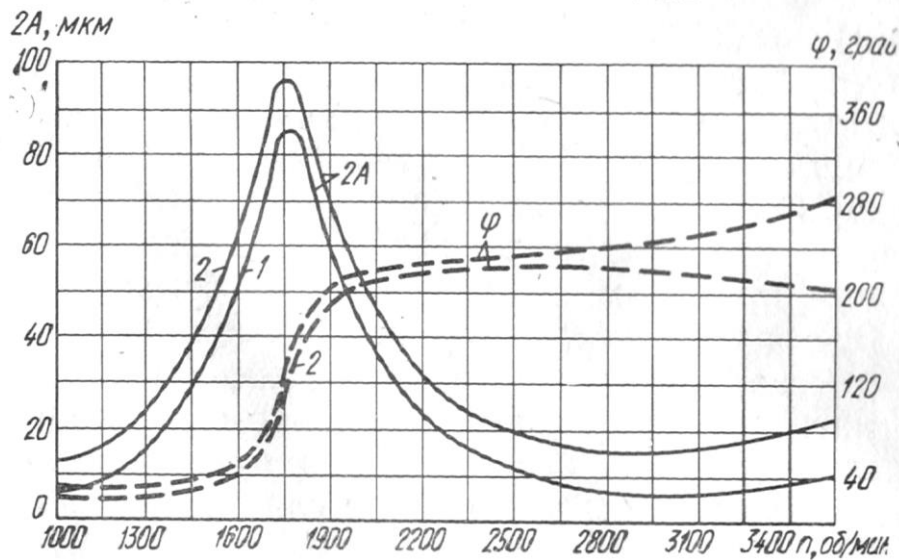
Для визначення вібрації нагнітача використовують її різні характеристики.

Швидкісна характеристика (рис. 2.8) нагнітача виражає залежність вібрації підшипників від кількості обертів ротора. Вимірювання виконують через кожні 150 об/хв у діапазоні 50-100% номінальних оборотів [14].

На підставі такої характеристики визначають невірноваженість ротора та характер її розподілу, фактичні критичні швидкості ротора, резонансні обороти для коливань підшипникових опор, фундаментних балок та інших частин.

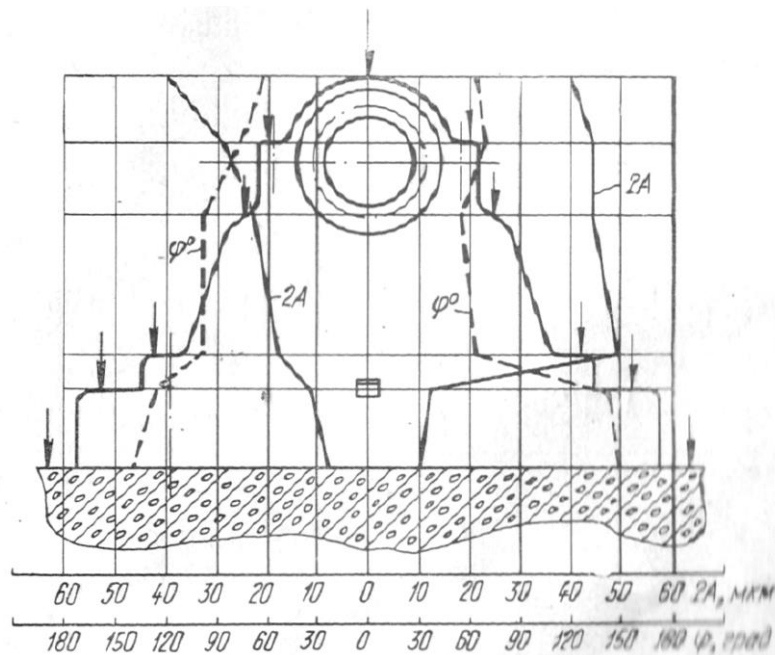
Контурна характеристика (рис. 2.9) будується визначення місць ослабленої жорсткості.

Таку характеристику знімають на стільцях підшипників. Вона є графічною залежністю амплітуди і фази вібрації від місця вимірювання. Особливу увагу слід приділяти місцям спирання лап циліндра на фундаментні плити. Відставання викликає різке збільшення вібрації під час переходу від фундаментної плити до лапи, і навіть дає стрибок фази. За допомогою контурних характеристик можна визначити місце порушення жорсткості в елементах фундаменту, перевірити наявність ізолюючих проміжків між фундаментом і перекриттям машинного валу.



1 – підшипник №1, 2 – підшипник №2, 2A – амплітуда вібрації,  $\varphi$  – фаза вібрації

Рисунок 2.8 – Швидкісні характеристики коливань підшипників нагнітача



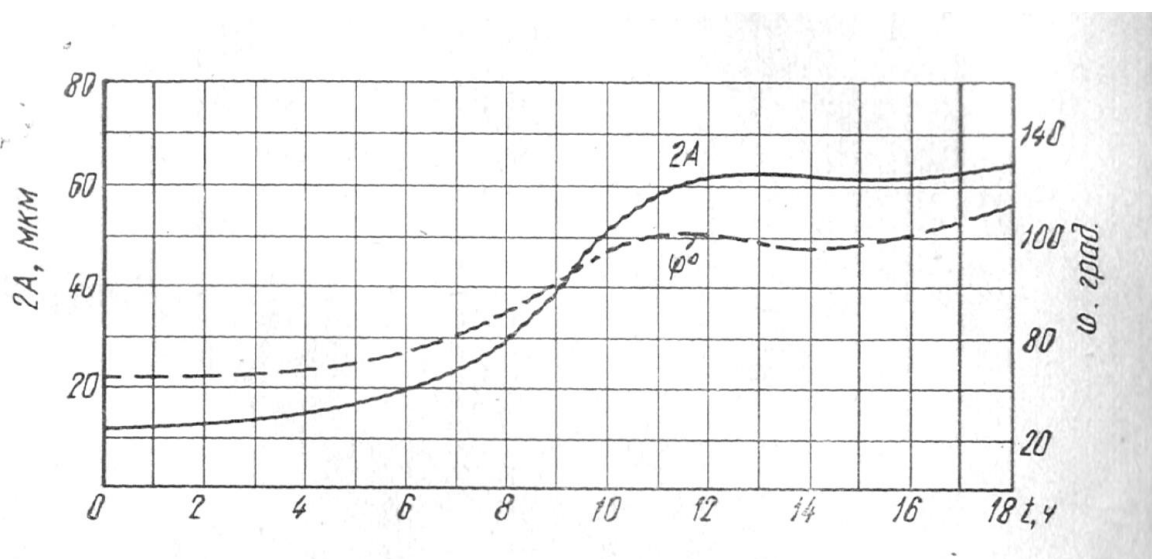
2A - амплітуда вібрації,  $\varphi_0$  - фаза вібрації

Рисунок 2.9 – Контурна характеристика опори ротора нагнітачів при вертикальній вібрації

Режимні характеристики (рис. 2.10) є залежністю параметрів вібрації від режиму роботи нагнітача.

На турбонагнітачі слід перевірити вібрацію під час роботи турбіни без протитиску і після підняття протитиску, виходячи з чого можна визначити впливом геть вібрацію расцентровки від підйому стільців турбіни.

При знятті протитиску та роботі та вихлоп з номінальним навантаженням можна простежити за впливом температури ротора турбіни на вібрацію агрегату.



2A - амплітуда вібрації,  $\varphi_0$  - фаза вібрації

Рисунок 2.10 – Режимна характеристика коливання опор

На підставі аналізу характеристик визначають фактори, що найбільше впливають на вібрацію машини.

## 2.5 Врівноваження роторів нагнітачів коксового газу

Врівноваження роторів нагнітачів коксового газу є технологічною операцією, мета якої полягає в упорядкуванні розподілу маси ротора щодо осі обертання [5].

Для повного врівноваження ротора необхідні дві основні умови:

1. Збіг центру тяжкості ротора з віссю обертання.
2. Збіг однієї з основних осей інерції з віссю обертання.

Неврівноваженість першого виду може бути виявлена при статичному балансуванні без примусового обертання. Тому така неврівноваженість називається статичною.

Неврівноваженість другого виду виявляється лише при обертанні ротора. Така форма розбалансування називається динамічною.

Найбільш загальним практичним випадком небалансу є спільна статична та динамічна неврівноваженість.

### 2.5.1. Статичне балансування коліс ротора

При статичному балансуванні виявляється небаланс, викликаний розбіжністю центру тяжіння з геометричною віссю обертання. Статичне балансування застосовується до колес нагнітача; вона є попередньою операцією для поелементного врівноваження робочих коліс.

Як остаточна операція для робочих коліс ротора нагнітача або для ротора в зборі статична балансування непридатна.

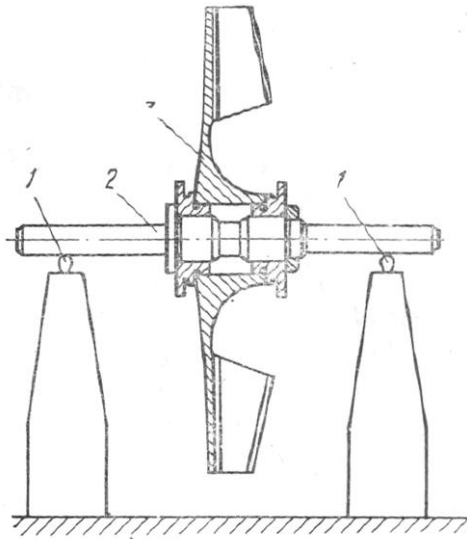
При статичному балансуванні на паралелях забезпечується точність приблизно дорівнює зсуву центру тяжіння від осі обертання на 0,05 мм. Цим і визначається момент припустимої залишкової неврівноваженості

$$M = 5G, \text{ г * см}, \quad (2.1)$$

де  $G$  – маса колеса, кг.

Врівноваження робочих коліс нагнітачів коксового газу здійснюють за такою методикою:

1. Після механічної обробки основний диск збирають на оправці для статичного балансування, встановлюють на паралелі та визначають "важку точку". Потім підбором лопаток врівноважують диск із лопатками. Після приклепування лопаток до диска, зачистки заклепок на основному диску та проточування по зовнішньому діаметру здійснюється статичне балансування. Небаланс усувають зніманням металу з полотна диска, що виконується ручною шліфувальною машинкою (рис. 2.11).

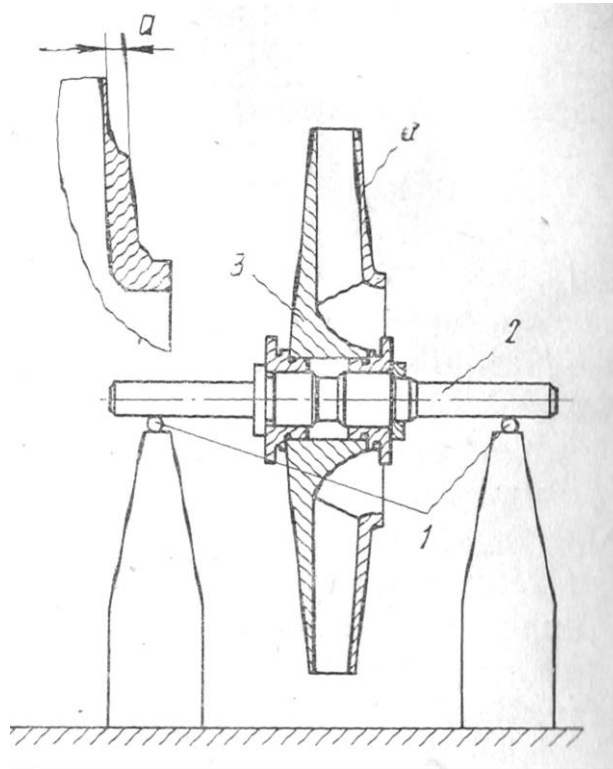


1- призми; 2 – оправлення з центруючими дисками; 3-диск з лопатками

Рисунок 2.11 – Врівноваження диска з лопатками на паралелях

2. Після приклепування покривного диска, обточування покривки по зовнішньому діаметру та місць під ущільнення, а також зачищення заклепок на диску, що покриває, проводять статичне балансування зібраного колеса. Небаланс усувають зніманням металу з полотна диска, що покриває (рис. 2.12).

Статичне балансування здійснюється на спеціальних пристосуваннях, що складаються із двох стійок, встановлених на міцній основі. На стійках кріплять паралелі. Довжина паралелі повинна забезпечувати не менше 2-3 обертів колеса, що балансується [13].



1 – призми; 2 – оправлення з центруючими дисками; 3 – робоче колесо; а - місце усунення небалансу

Рисунок 2.12 – Схема статичного балансування колеса

Опорна частина паралелі шліфується до чистоти 6, вибоїни та вм'ятини не допускаються.

Ширину робочої поверхні визначають за формулою

$$a = \frac{0,35 \cdot G \cdot E}{p^2 \cdot d} \quad (2.2)$$

де G – навантаження на паралель, кг;

$E$  – модуль пружності матеріалу паралелей ( $2,0 \div 2,2 * 10^6$ ) кгс/см<sup>2</sup>;

$p$  – допустиме навантаження на зминання ( $7000 \div 8000$ ) кгс/см<sup>2</sup>;

$d$  – діаметр оправки, мм.

Майже ширину робочої поверхні паралелей для дисків нагнітачів коксового газу можна зробити рівною 5-7 мм.

Диск насаджують на спеціальну оправку з гартованими шийками. Шийки оправлення мають бути шліфованими з биттям не більше 0,01 мм. Оправлення слід статично збалансувати [12].

Перед встановленням диска з оправкою на паралелі потрібно за допомогою рамного рівня і точної лінійки перевірити, щоб поверхні кочення знаходилися в одній горизонтальній площині і були взаємно паралельні.

Залежно від необхідної точності застосовують два способи врівноваження.

Користуючись першим способом, можна врівноважити лише явний небаланс, коли диск повертається на паралелях і важке місце посідає нижнє положення.

Другим способом можна знищити також залишковий небаланс, який спостерігається після балансування, виконаної першим способом у зв'язку з наявністю тертя кочення оправки по призмах.

Для роторів нагнітачів коксового газу можна обмежитися статичним врівноважуванням по першому способу, так як при остаточному динамічному балансуванні зібраного ротора врівноважуванням ставлять на ті ж диски, тобто небаланс, що залишився усувають в площинах його докладання і вал на номінальних оборотах не випробовує.

Статичне балансування здійснюється в такий спосіб. Диск із оправкою повертають кілька разів на паралелях і дають йому вільно зупинитися, фіксуючи при цьому верхню точку. Якщо колесо займає



Якщо при повороті деталь займає байдуже положення в стані спокою, вона вважається попередньо врівноваженою. Після цього слід зняти та окремо зважити вантажі  $P$  та  $R$ .

У цьому закінчується процес статичного врівноваження робочих коліс ротора нагнітача.

Статичне врівноважування – остання технологічна операція виготовлення колеса. Після збирання ротора приступають до його динамічного врівноваження на верстаті.

### 2.5.2 Методика динамічного балансування

Після поелементного статичного балансування колеса посадки їх на вал приступають до остаточного динамічного балансування повністю зібраного ротора.

Всі нагнітачі, які в даний час випускає вітчизняна промисловість, забезпечені гнучкими роторами, що працюють на оборотах, вищі за критичні.

Незважаючи на те, що балансування па верстаті виконується при малих числах оборотів і форми коливань ротора не збігаються з формами його коливань у підшипниках на номінальних оборотах, при застосуванні правильної методики балансування ця технологічна операція є заключною; після неї немає необхідності у підбалансуванні на критичних та номінальних оборотах.

Це тим, що ротори нагнітачів мають найпростішу конструкцію і розподіл первинного небалансу за довжиною ротора заздалегідь відомо. Дійсно, у двоколісних роторів нагнітачів коксового газу небаланс зосереджений у площинах коліс, будучи наслідком їх нерівномірного зносу в середовищі агресивного газу або за

недостатнього статистичного балансування перед посадкою коліс на вал.

Тому при врівноважуванні роторів на верстаті врівноважуючий вантаж слід розташовувати тільки на дисках робочих коліс, навіть якщо для кріплення вантажів є інші місця.

Тридискові та багатодискові ротори слід врівноважувати в кілька етапів, із встановленням вантажів у раніше відомі місця зосередження первинного небалансу.

Для цього треба спочатку збалансувати ротор із двома колесами, потім надіти ще одне колесо і остаточно збалансувати ротор установкою вантажу на третьому колесі, що порушило врівноваженість ротора з двома колесами.

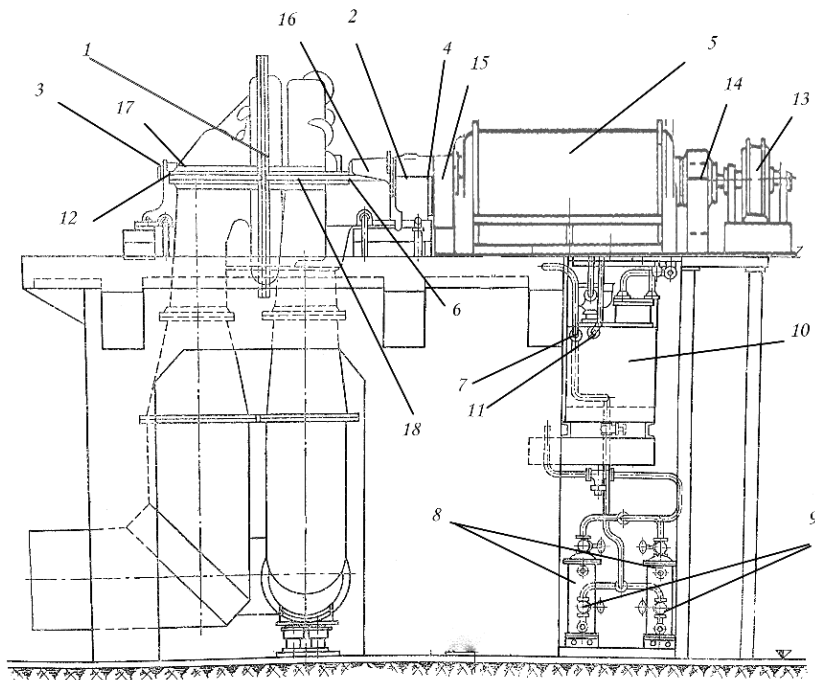
## 2.6 Побудова дерев відмов та булевих тотожностей

### 2.6.1 Побудова дерева відмов нагнітача коксового газу

Дерева відмов є орієнтованими графами зі структурою у вигляді дерева, для якої характерні наявність деякої головної події. Ця подія поміщено вгорі, його наступ відповідає відмови обладнання [9].

Розглядаючи можливі причини появи завершальної події, послідовно приходимо до встановлення елементарних вихідних подій, які ведуть до відмов обладнання. Побудова дерева відмов по суті є символічним поданням існуючих умов, здатних викликати відмову обладнання [19].

Отже побудуємо дерево відмов нагнітача коксового газу.



1- нагнітач коксового газу, 2- з'єднувальні муфти, 3- головний масляний насос, 4- редуктор, 5- електродвигун, 6- контроль осьового зсуву, 7- регулюючий клапан, 8- маслоохолоджувачі, 9- пусковий та резервний маслonaсос з електроприводом, 10- маслобак, 11- редукційний клапан, 12- промвал головного масляного насоса, 13- збудник електродвигуна, 14- підшипник ковзання електродвигуна опори №1, 15- підшипник ковзання електродвигуна опори №2, 16- опорно-упорний підшипник опори №3, 17- опорний підшипник опори №4, 18 - двоступінчастий ротор

Рисунок 2.14 – Принципова схема нагнітача коксового газу з електроприводом

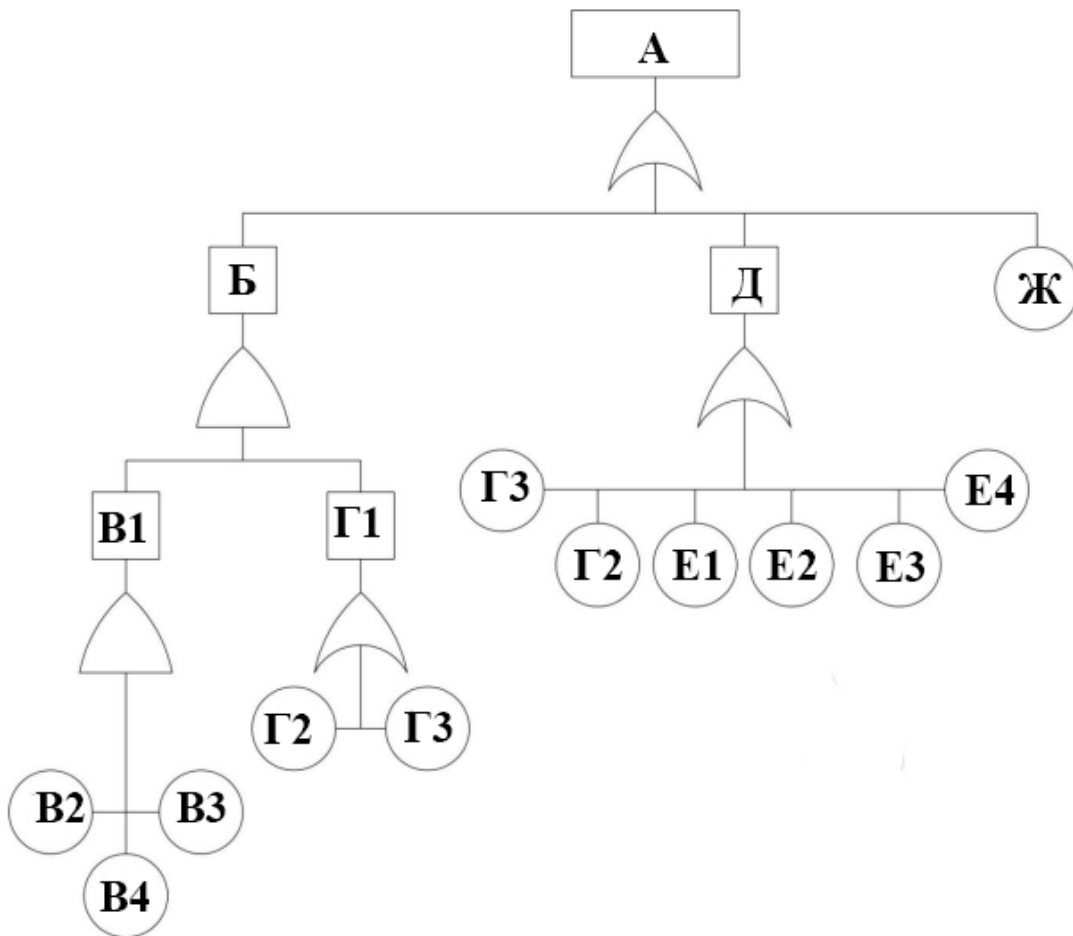


Рисунок 2.15 – Дерево відмов нагнітача коксового газу

Таблиця 2.1– Інтенсивність відмов

Умовні позначення	Подія	Інтенсивності відмов, міс <sup>-1</sup>
А	Зупинка нагнітача	0,0001
Б	Вибух нагнітача	0,0009
В1	Руйнування лопаток ротора	0,008
В2	Попадання чужорідного тіла, що дає іскру тіла	0,0007
В3	Руйнування закріпок покривних листів	0,009
В4	Тріщини в покривних листах чи лопатках	0,006
Г1	Руйнування газових ущільнень	0,02

Г2	Руйнування бабіта підшипників нагнітача	0,03
Г3	Поперечна вібрація	0,04
Д	Відмова маслосистеми	0,05
Е1	Відмова головного масляного насосу	0,07
Е2	Вихід з ладу промвалу (зріз валу, зріз шпонки, підшипники промвалу)	0,09
Е3	Попадання води в маслосистему (вихід з ладу маслоохолоджувача)	0,06
Е4	Вихід з ладу регулюючого клапана (підвищення-зниження тиску мастила в системі - зупинка нагнітачника автоматикою)	0,008
Ж	Порушення технологічного процесу	0,04

Отже, перш ніж знаходити кількісні показники надійності, слід спростити вирази з повторюваними подіями, використовуючи властивості булевої алгебри, в іншому випадку будуть отримані помилкові кількісні оцінки [20].

Після побудови дерева відмов, проведемо аналіз надійності за 3 роки.

### 2.6.2 Дерево відмов в булевих тотожностях

$$B_1 = B_2 \cap B_3 \cap B_4$$

$$Г_1 = Г_2 \cup Г_3$$

$$B = B_1 \cap Г_1$$

$$B = (B_2 \cap B_3 \cap B_4) \cap (Г_2 \cup Г_3) = (B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap Г_2) \cup (B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap Г_3)$$

$$D = \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup E_4$$

$$A = B \cup D_1 \cup Ж$$

$$A = (B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_2) \cup (B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_3) \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup E_4 \cup Ж$$

Таблиця 2.2 – Мінімальні аварійні поєднання

1.	$\Gamma_2$
2.	$\Gamma_3$
3.	$E_1$
4.	$E_2$
5.	$E_3$
6.	$E_4$
7.	Ж
8.	$B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_3$
9.	$B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_2$

Після спрощення виразів з повторюваними подіями, використовуючи властивості булевої алгебри, робимо висновок, що мінімальна кількість аварійних поєднань – 9 (згідно з таблиці 2.2)

### 2.6.3 Аналіз надійності нагнітача коксового газу

Згідно пункту 2.6.1. ми можемо провести послідовний аналіз надійності функціонування нагнітача коксового газу з урахуванням кожного конкретного виду відмови (таблиця 2.1) механізмів і пристроїв нагнітача коксового газу, і встановити значимість відмов

для розробки оптимальної стратегії системи технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) .

З отриманого дерева відмов (рисунок 2.15 ) видно, що кінцева подія "відмова виробничого процесу" – може статися при події А.

1. Спочатку визначимо ймовірність безвідмовності за 3 роки для кожного елемента (згідно даним таблиця 2.3.):

Таблиця 2.3 – Ймовірність безвідмовності

Умовні позначення	Ймовірність безвідмовності, $P_i$
А	0,996
Б	0,968
В1	0,750
В2	0,975
В3	0,723
В4	0,806
Г1	0,487
Г2	0,340
Г3	0,237
Д	0,165
Е1	0,080
Е2	0,039
Е3	0,115
Е4	0,750
Ж	0,237
$B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_2$	0,193
$B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_3$	0,135

2. Можемо знайти ймовірність безвідмовної роботи за формулою:

$$Q_c = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i) \quad (2.3)$$

де  $n$  – число елементів;

$P_i$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -того елемента.

Вставляючи в формулу

$$A = (B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_2) \cup (B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_3) \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup E_4 \cup \text{Ж}$$

отримуємо:

$$Q_c = 1 - (1 - (B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_2)) * (1 - (B_2 \cap B_3 \cap B_4 \cap \Gamma_3)) * (1 - \Gamma_2) * (1 - \Gamma_3) * (1 - E_1) * (1 - E_2) * (1 - E_3) * (1 - E_4) * (1 - \text{Ж}) = 1 - ((1 - 0,193) * (1 - 0,135) * (1 - 0,340) * (1 - 0,237) * (1 - 0,237) * (1 - 0,080) * (1 - 0,039) * (1 - 0,115) * (1 - 0,750) * (1 - 0,237)) = 0,9475$$

Результати якісного аналізу дерева відмов

Виявлено 9 мінімальних аварійних поєднань для дерева відмов нагнітача коксового газу: сім з яких мають по одній аварійній події, два - мають по чотири аварійних події.

При розрахунку показників надійності на 3 роки експлуатації нагнітача імовірність відмови кінцевої події дорівнює 0,9475. Розраховано середній коефіцієнт значимості  $F_{\text{ср}} = 0,63$ . Події, які відносяться до I категорії значимості відображені у таблиці 2.4 – ймовірність відмов і їх коефіцієнти значимості.

Таблиця 2.4 – Ймовірність відмов і їх коефіцієнти значимості

Події та аварійні поєднання, Сі	Інтенсивності відмов, міс <sup>-1</sup>	Ймовірність безвідмовності, Рі	F	F <sub>ср</sub>	Категорія
A	0,0001	0,996	1,052	0,63	II кат
Б	0,0009	0,968	1,022		I кат
B <sub>1</sub>	0,008	0,750	0,791		I кат
B <sub>2</sub>	0,0007	0,975	1,375		II кат
B <sub>3</sub>	0,009	0,723	1,109		II кат
B <sub>4</sub>	0,006	0,806	1,196		II кат
Г <sub>1</sub>	0,02	0,487	0,514		I кат
Г <sub>2</sub>	0,03	0,340	0,562		I кат
Г <sub>3</sub>	0,04	0,237	0,392		I кат
Д	0,05	0,165	0,174		I кат
Е <sub>1</sub>	0,07	0,080	0,085		I кат
Е <sub>2</sub>	0,09	0,039	0,041		I кат
Е <sub>3</sub>	0,06	0,115	0,122		I кат
Е <sub>4</sub>	0,008	0,750	0,791		I кат
Ж	0,04	0,237	0,250		I кат
B <sub>2</sub> ∩ B <sub>3</sub> ∩ B <sub>4</sub> ∩ Г <sub>2</sub>		0,193			
B <sub>2</sub> ∩ B <sub>3</sub> ∩ B <sub>4</sub> ∩ Г <sub>3</sub>		0,135			

## 2.7 Заходи підвищення експлуатаційної надійності нагнітача коксового газу

Однією з основних причин експлуатаційних відмов і пошкоджень систем управління, змащення і ущільнення валів газодувки є погіршення експлуатаційних характеристик турбінного масла. Принаймні частково це пов'язано з тим, що багато установок знаходяться в кінці свого життєвого циклу. Крім того, існуючі методи і обладнання для моніторингу поточного стану енергетичного масла і його очищення морально і фізично застаріли і тому не можуть похвалитися високою ефективністю [1].

Відповідно до європейського стандарту ISO 4406, турбінне мастило повинно бути очищене за стандартом 15/12 для надійної роботи газодувки і компонентів обладнання. Це відповідає стандартизації розміру частинок від 3 до 25 мікрон. Недотримання цієї рекомендації може призвести до наступних наслідків:

- накопичення механічних домішок в дросельній частині блоку управління, що призводить до виходу з ладу системи управління;
- потрапляння твердих частинок в опорні підшипники, що призводить до несправностей і виходу нагнітача з ладу;
- підвищена електропровідність мастила збільшує ризик виникнення електричного розряду між ротором газодувки та баббітними втулками підшипників.

Механічні домішки і волога в турбінному мастилі можуть викликати наступні явища:

- підвищення робочої температури масла;
- передчасний вихід з ладу або руйнування підшипників;
- нестабільна робота системи управління;
- збільшення витрат на технічне обслуговування і ремонт турбогенераторів і компонентів.

У даний час фактичний термін служби турбінного масла в середньому становить два-три роки, і часто відбувається дострокова заміна. З іншого боку, згідно з досвідом багатьох зарубіжних компаній, турбінне масло може працювати не менше 10 років, якщо її регулярно очищати. Потенційну економію фінансових ресурсів підрахувати не складно.

Основною причиною дострокової заміни турбінного мастила є те, що існуючі металеві сітчасті фільтри з розміром пор 500 і 250 мікрон не забезпечують необхідної чистоти мастила. В результаті в

мастилі накопичуються різні силікати, металеві частинки, тверді смоли, волокна, прозорі кристалічні частинки і продукти старіння розміром до 250-500 мікрон [17].

Можливі шляхи вирішення цієї проблеми включають в себе:

- використання стаціонарних фільтрів;
- використання центрифуг;
- мобільні системи фільтрації, засновані на дії вакууму на вологу і газу;
- мобільні та стаціонарні установки з використанням цеолітів;
- мобільні установки для повної регенерації турбінного масла.

З огляду на високий ступінь забруднення турбінного масла, виправданим є використання в якості фільтруючих елементів багаторазових металевих сепараторів з фільтруючою сіткою 10-20 мікрон. Однак, навіть фільтри з розміром пор 20 мкм не здатні повністю вирішити проблему, оскільки такі домішки затримуються лише номінально через випадковість розміру частинок і просторової орієнтації в потоці рідини.

При використанні центрифуг неможливо очистити турбінне мастило від частинок розміром менше 5 мікрон. З часом кількість частинок неприпустимо збільшується, значно знижуючи чистоту мастила і прискорюючи окислення. Слід також зазначити, що використання центрифуг супроводжується втратами масла.

Підчас багаторазової регенерації цеоліти можуть стати крихкими і утворювати велику кількість пилу. Тому необхідно встановлювати додаткові фільтри тонкого очищення. Крім того, здатність цих адсорбентів до зневоднення обмежена.

Вакуумний маслоочисник є ідеальним обладнанням для видалення води, газу і домішок з трансформаторного масла,

турбінного масла, моторного масла, масла для гідросистем, які застосовуються на електростанціях, електричних підстанціях, заводах з виробництва електрообладнання, видобувних заводах і т. Д.



Рисунок 2.16 – Приклад очищення мастила

Основні сфери застосування:

- для негайного очищення і присадки мастила для маслонаповнених трансформаторів, трансформаторів напруги і маслонаповнених вимикачів.
- для виконання негайного циркулюючого сушіння гарячого масла для зазначеного вище обладнання.
- для негайного наповнення і присадки масла в устаткуванні з масляним ущільненням і забезпечення вакууму в устаткуванні.
- для очищення згірлого трансформаторного масла для відновлення його роботи.

Вакуумний маслоочисник заснований на принципі, згідно з яким температура кипіння води відрізняється від масла. Він складається зі звичайного фільтра, нагнітального масляного насоса, нагрівача, вакуумного резервуара, вакуумного насоса, конденсатора, фільтра тонкого очищення, маслозливного насоса та електричної шафи. Вакуумний насос маслоочисника всмоктує газ у вакуумний резервуар і утворює в ньому вакуум. За допомогою нагнітального маслонасоса масло по впускній трубі надходить у звичайний фільтр, а після видалення великих часток - у нагрівач. Коли температура мастила досягає 40-70 °С, масло автоматично контролюється рівнеміром для визначення балансу масла у вакуумному резервуарі і надходить у вакуумну посудину. Вода швидко випаровується з мастила і відкачується за допомогою вакуумного насоса маслоочисника в конденсатор. Водяна пара перетворюється на воду в конденсаторі. Після дегазації та дегідратації мало перекачується у фільтр тонкого очищення за допомогою маслозливного насоса, і в такий спосіб з мастила видаляються дрібні частинки.

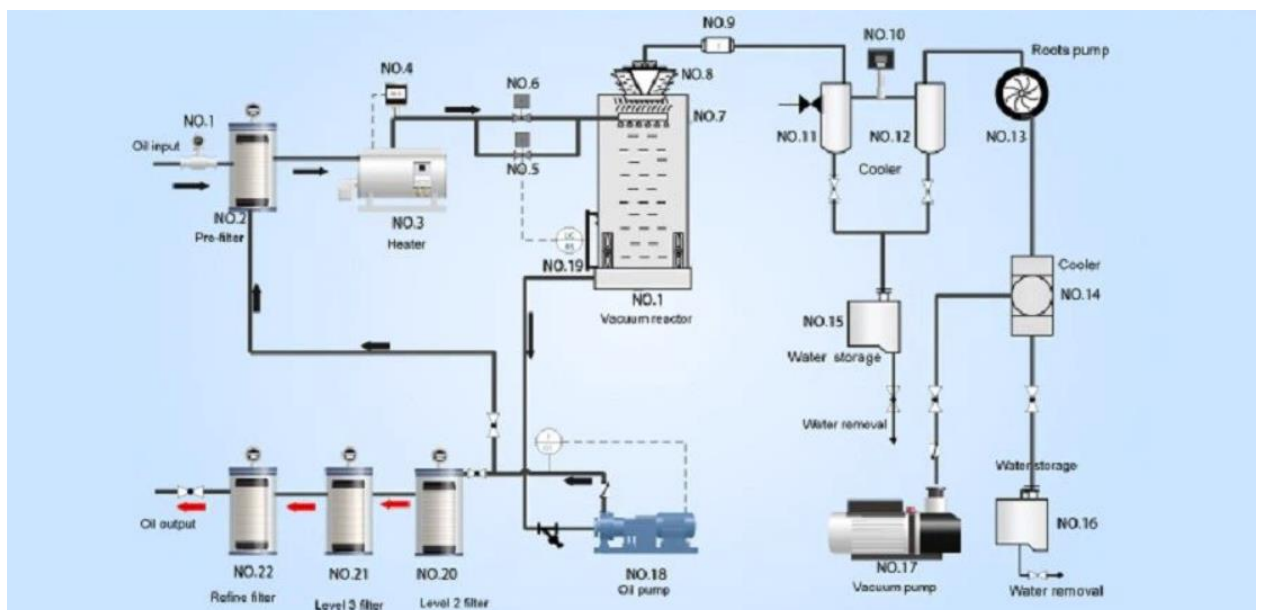


Рисунок 2.17 – Схема вакуумного маслоочисника

Переваги:

- Багатофункціональність. Можливість дегазації, дегідратації та всмоктування домішок, а також забезпечення вакууму для дегазації та дегідратації.

- Безпека та надійність. Тиск, температура, рівень рідини точно визначаються і автоматично контролюються. Висока ефективність за низьких витрат.

- Розумна конструкція. Можливість переміщення.

Вакуумне очищення турбінного масла є ефективним методом для зменшення причин експлуатаційних відмов та пошкоджень систем управління маслосистеми нагнітача коксового газу. Цей метод дозволяє підвищити надійність та ефективність роботи обладнання, знизити витрати на ремонт та продовжити термін його служби.

Для досягнення максимального ефекту від вакуумного очищення масла рекомендується:

- Регулярно проводити очищення масла – періодичність очищення залежить від умов експлуатації обладнання.

- Використовувати сучасне обладнання для очищення, яке забезпечує більш ефективне очищення масла.

- Регулярно проводити аналіз якості масла для оцінки ефективності очищення.

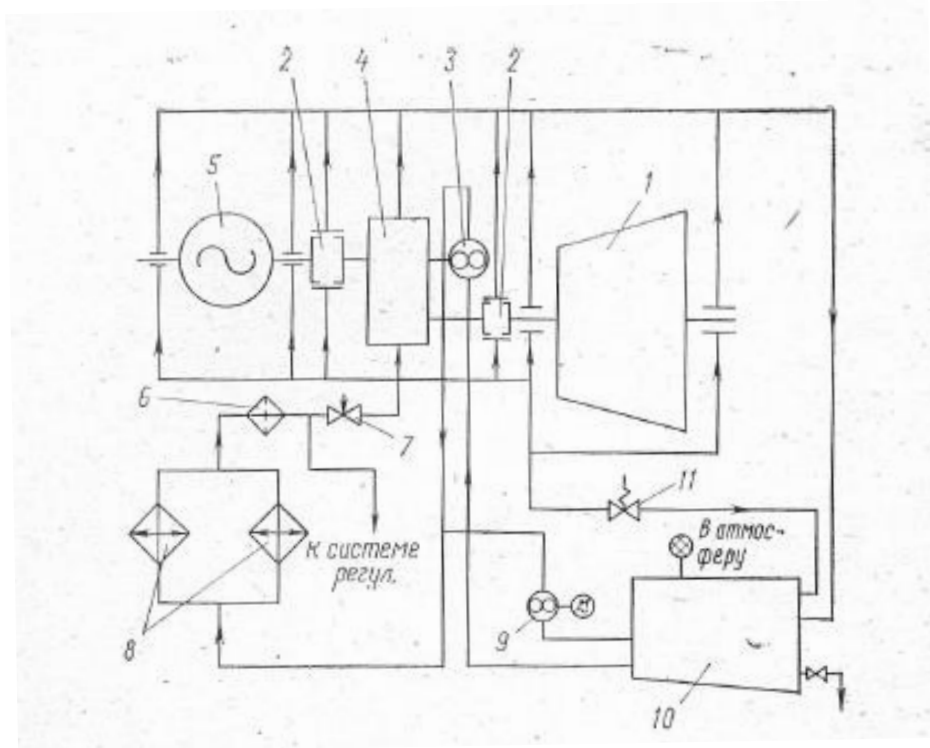
Вакуумне очищення турбінного масла є важливим елементом комплексної програми з підвищення надійності та ефективності роботи систем управління маслосистеми нагнітача коксового газу. Застосування цього методу дозволяє значно знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та забезпечити безперебійну роботу виробництва.

## РОЗДІЛ 3 ФІЛЬТРАЦІЯ МАСТИЛА У МАСЛОСИСТЕМІ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ

### 3.1 Система маслостачання нагнітача коксового газу

На рисунку 3.1 показано схему системи циркуляції мастила відцентрового компресора з електроприводом. Компресор 1 приводиться в дію електродвигуном 5 через редуктор 4. Редуктор і вал електродвигуна компресора з'єднані муфтою 2. Мастило подається головним шестеренним масляним насосом 3, що приводиться в дію від валу редуктора. Електричний пусковий насос 9 використовується для змащування підшипників під час запуску та зупинки компресора. Головний масляний насос забирає масло з масляного бака 10 і перекачує його з масляного радіатора 8 [14].

Для підтримання постійного тиску в системі управління і змащення встановлений регулюючий клапан 7 і клапан скидання тиску 11, який перекачує частину мастила в масляний бак. Після масляного охолоджувача потік мастила проходить через фільтр 6 і направляється по трубопроводу під тиском до підшипників, муфт і редукторів. Кількісний розподіл мастила, що надходить до кожного підшипника, забезпечується дросельними шайбами, встановленими на вході в підшипник. На виході з кожного підшипника передбачено оглядове вікно для візуального контролю потоку мастила через підшипник.



1 – компресор, 2 – муфти, 3 – головний масляний насос, 4 – редуктор, 5 – електродвигун, 6 – фільтр, 7 – регулювальний клапан, 8 – маслоохолоджувачі, 9 – пусковий насос електроприводом, 10 – маслобак, 11 – редукційний клапан

Рисунок 3.1. Принципова схема системи циркуляційного маслопостачання відцентрової компресорної машини з електроприводом

### 3.2 Властивості мастил, що застосовуються у системах маслопостачання

У сучасних системах маслопостачання мастило вступає у складну взаємодію з різноманітними матеріалами, такими як сталь трубопроводів, латунь трубок маслоохолоджувачів, бабіт підшипників, а також з неметалевими елементами ущільнювачів і прокладок. Крім того, мастило контактує з водою, повітрям і технологічними газами, піддається впливу підвищених температур, піниться, взаємодіє з забруднювальними домішками та зазнає

обводнення. Такі умови експлуатації висувають підвищені вимоги до властивостей мастил, які мають забезпечувати тривалу та надійну роботу систем маслопостачання і компресорного обладнання загалом. Значне підвищення експлуатаційної довговічності мастил можливе через створення оптимальних умов їх використання. Реалізація таких заходів здійснюється як у процесі технічного обслуговування агрегатів, так і під час їх ремонту, а також модернізації обладнання систем маслопостачання. Основна увага приділяється властивостям мінеральних турбінних і компресорних мастил, які отримали найбільше поширення в конструкціях відцентрових компресорів. Серед ключових фізико-хімічних характеристик мастил виділяють динамічну та кінематичну в'язкість. Динамічна в'язкість вимірюється у Паскаль-секундах (Па·с), відображаючи абсолютну величину сил зсуву всередині мастильного матеріалу. Натомість кінематична в'язкість характеризує опір ковзанню шарів мастила під дією сили тяжіння та вимірюється у квадратних метрах на секунду ( $\text{m}^2/\text{c}$ ) або сантистоксах ( $1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{c}$ ). У деяких випадках використовуються відносні одиниці, такі як градуси Енглера. Температурна залежність є однією з найважливіших особливостей в'язкості мінеральних мастил. Під час зниження температури відбувається підвищення густини мастила, що призводить до зростання його в'язкості. Оптимальними вважаються мастила зі слабо вираженою зміною в'язкості при зміні температури. Для оцінки цього параметра використовується індекс в'язкості — безрозмірний показник, що відображає залежність зміни в'язкості від температурного впливу за стандартною шкалою. Високий індекс в'язкості (понад 80-100) свідчить про стабільність властивостей мастила за різноманітних температурних режимів, тоді як низькі значення індексу (менше 60) вважаються незадовільними для застосування у турбінних установках. В'язкість мастила також

підвищується із зростанням тиску. Однак під час експлуатації спостерігаються процеси окислення, забруднення, шламівання та обводнення мастила, які призводять до деградації його властивостей. Крім того, вплив аерації — насичення мастила газами — є особливо важливим фактором погіршення його якості. Частина газів розчиняється в маслі, інша частина утворює бульбашки або піну. Розчинений у мастилі кисень виступає головним окислювачем, що сприяє старінню мастила. Повітряні бульбашки негативно впливають на стабільність роботи підшипників і ефективність теплообміну в системах маслоохолодження [17].

Під впливом експлуатаційних умов фізико-хімічні властивості мастила зазнають змін, що загалом описують як процес старіння мастила. Це явище зумовлене контактом мастила з повітрям, каталітичною дією води й металів, а також процесами окислення. В результаті окислювальних реакцій зростає щільність і в'язкість мастила, погіршується його здатність до деемульгування, а також утворюються розчинні в маслі та леткі кислі продукти, що мають корозійно активний характер. Продукти окислення, які утворюються в процесі, можуть самостійно виконувати каталітичну роль, сприяючи подальшому прискоренню старіння мастила. Практичний досвід показує, що додавання свіжого мастила в систему зі зношеним і зашламленим мастилом або у випадку недоочищення від залишків шламу призводить до посиленого окислення отриманої суміші. Стійкість мастила до окислювального впливу повітря визначається його стабільністю. Основним критерієм цієї стабільності є здатність мастила на початкових етапах старіння утворювати водорозчинні кислоти. Для оцінки стабільності використовують показник витрати гідроксиду калію (КОН), необхідного для нейтралізації водорозчинних кислот, виділених з певної порції мастила у водну витяжку. Кількість кислот загалом виражають через кислотне число, яке вказує на

кількість КОН (у міліграмах), потрібну для нейтралізації одного грама мастила. Якщо у складі мастила відсутні водорозчинні кислоти, реакція водної витяжки буде нейтральною.

Допустиме кислотне число для мастила, що використовується в процесі експлуатації, не повинно перевищувати значення 0,5 мг КОН. У разі його зростання слід звернути увагу на загальний стан мастила, перевірити наявність шламу, домішок чи води. Щоденний візуальний контроль якості мастила є обов'язковим, а за необхідності варто виконувати додаткові лабораторні аналізи для оцінки фізико-хімічних властивостей мастила. Турбінні та компресорні мастила виготовляють із продуктів переробки нафтової сировини. Вони отримуються шляхом спеціалізованого очищення масляних дистилатів, що є наслідком вакуумної перегонки нафти. Метою очищення є усунення небажаних компонентів, які негативно впливають на експлуатаційні характеристики мастила. Спосіб очищення має суттєвий вплив на якість кінцевого продукту, тому в назві мастила часто згадують обраний метод очищення: кислотний, селективний, гідрогенізаційний, земельний або їх комбінації. Крім цього, оскільки характеристика мастила залежить від властивостей вихідної нафти, у його назві можуть також зазначати географічне походження сировини, наприклад, бакинська чи ферганська.

У системах змащування компресорних агрегатів здебільшого використовуються турбінні мастила відповідно до стандарту ГОСТ 32-74, зокрема марки Т-22 і Т-30. Останнім часом значної популярності набули модифіковані варіанти мастила Т-22 з різноманітними присадковими композиціями, такими як Тп-22 і Тп-30 з антиокислювальною присадкою ДБК (ГОСТ 9972-74), а також ТСп-22 і ТСп-22Г, які виготовляються на базі сірчистої нафти. Існує також Тпп-22, що містить антиокислювальну, антикорозійну (В-15/41), деемульгувальну (Д-157) та протипінну присадки. Росла популярність

турбінного мастила Тп-22Х (ТУ 38-101.802-79), яке збагачене антиокислювальною добавкою хінізарин, а також компресорного масла КП-8 (ТУ 38-101.543-78) із додаванням антиокислювальних та антикорозійних присадок. Серед сучасних варіантів також поширене мастило Тп-22СУ (ТУ 38-101.821-80). Під час необхідності змішування мастил різних марок слід брати виключно свіжі масла. Завдяки різниці в типах присадок змішання може призводити до зниження їхньої концентрації, тому передбачено додавання додаткової кількості присадки для досягнення її оптимального рівня в усьому об'ємі суміші. У таких випадках рекомендовано перевіряти стабільність отриманої суміші, яка має відповідати або перевищувати стабільність найменш стійкого компонента складу. Перед заправленням мастила у систему обов'язково потрібно провести його аналіз, навіть якщо є сертифікат або позитивні результати попередніх перевірок. Цю процедуру зазвичай виконують спеціалісти центральної заводської лабораторії. Якість мастила повинна повною мірою відповідати встановленим стандартам для нового продукту [17].

### 3.3 Технології поводження з відпрацьованим мастилом

Відпрацьовані турбінні та трансформаторні масла є канцерогенними продуктами, здатними вплинути на довкілля та здоров'я людини. Тому в основних нормативних документах регламентовано вимоги до заміни та збору відпрацьованих масел на енергетичних підприємствах. Відпрацьовані мастила підлягають обов'язковій утилізації. Утилізація відпрацьованих масел може бути здійснена кількома способами.



Рисунок 3.2 – Технологічний цикл енергетичних мастил та основні способи утилізації

Найбільш перспективним та актуальним у даний час способом утилізації відпрацьованих масел на енергетичних підприємствах є їх регенерація з метою багаторазового застосування прямого призначення. Застосування сучасних маловідходних технологій регенерації відпрацьованих масел дозволяє суттєво зменшити кількість відходів, знизити негативний вплив на навколишнє середовище, збільшити термін служби мастил в устаткуванні, підвищити надійність експлуатації та зменшити витрати на заміну відпрацьованих масел свіжими. Відповідно до вимог діючих НТД регенерація масла - це технологічний процес, що передбачає

селективне видалення з масел продуктів старіння та забруднення та подальшу стабілізацію присадками з метою відновлення якості масла відпрацьованої або некондиційної, для її повторного застосування за прямим призначенням відповідно до вимог, що пред'являються до регенерації масла діючими стандартами (нормативними документами).

Технологія регенерації повинна забезпечити видалення з масел наступних небажаних компонентів:

- Механічні домішки (тверді частинки різної природи та волокна).
- Масляний шлам (потенційні опади).
- Вода (дисперсна та розчинена).
- Гази (повітря та газоподібні продукти розкладання мастила).
- Кислоти (низько та високо молекулярні).
- Смоло-асфальтові речовини.
- Металорганічні сполуки (мила).
- Поліароматичні сполуки.
- Ненасичені вуглеводні.
- Залишки присадок та продукти їхньої функціональної дії.
- Продукти розкладання мастила (під впливом високих температур, електричних розрядів, кавітації).
- Різні гетероатомні вуглеводневі сполуки.

Тому очевидно, що процес регенерації відпрацьованого масла повинен включати стадію очищення від забруднення, селективне видалення продуктів старіння і стабілізацію присадками (як фінішну стадію регенерації). Терміни «очищення» та «регенерація» дуже часто штучно підмінюються, найбільш ймовірно через економічні причини. І багато «фахівців» просте очищення від забруднення вважають регенерацією. Це помилка. Без операцій видалення канцерогенних продуктів старіння мастил та стабілізації базової регенованої масел за допомогою присадок регенерація відповідно

до вимог діючих НТД не можлива. Стабілізація масел присадками без знання хімії присадок та хімотології, а також специфічних особливостей їх застосування у різних композиціях визначає значний ризик. Можна не досягти бажаного результату відновлення якості масла і завдати шкоди обладнанню за рахунок ініціалізації утворення опадів в маслосистемі. Особливо це актуально для застосування регенованих турбінних масел, якщо при використанні вони змішуватимуться з іншими мастилами різних виробників (сумісність мастил) і заливатиметься в непідготовлені брудні маслосистеми. У діючих документах з експлуатації масляних господарств та масел в обладнанні електричних станцій та мереж даються дуже чіткі критерії застосування очищення чи регенерації.

Область застосування регенерації можна визначити так:

- Очищення масла в працюючих агрегатах (парові та газові турбіни, гідроагрегати) та потужних насосах.
- Очищення та регенерація мастила при ремонті обладнання (електротехнічного, тепломеханічного, гідромеханічного). Регенерація мастил на мастильних господарствах.
- Очищення та регенерація промивної турбінних або трансформаторних масел.

Найбільш надійно виконувати регенерацію відпрацьованих масел злитих з обладнання резервуари масляних господарств. Це дозволяє за допомогою обладнання для регенерації масел навіть невисокої продуктивності (0,5-1,5 м<sup>3</sup>/год) створити необхідний запас підготовленої до додавання масел для забезпечення заміни відпрацьованого мастила в період проведення планових ремонтів енергетичного обладнання наповненого маслом. Відомо досить багато різних технологій та способів очищення чи регенерації трансформаторних та турбінних масел. Головним при регенерації буде екологічний та економічний аспект. Технологія регенерації має

бути не тільки ефективною та економічно вигідною, а й маловідходною. У таблиці 3.1 наведено порівняльний табличний аналіз різних технологій ефективності очищення масел відповідно до вимог діючих НТД.

Таблиця 3.1 – Ефективність різних технологій з очищення масел від основних забруднень

Найменування технології очищення	Ефективність очищення масел від забруднення				Наявність витратних матеріалів
	Тверді частинки	Вода (дисперсна та розчинена)	Масляний шлам та продукти старіння	Гази (розчинені в мастилі)	
1.Отстой	Видаляє частково	Видаляє частково	Не видаляє	Не видаляє	Відсутні
2.Фільтрація на сітках	Видаляє частково	Не видаляє	Не видаляє	Не видаляє	Відсутні
3.Центробіжна сепарація	Видаляє частково	Видаляє частково	Не видаляє	Не видаляє	Відсутні
4.Вакуумне випаровування	Не видаляє	Видаляє	Не видаляє	Видаляє	Відсутні
5.Електрофізичне очищення	Видаляє	Не видаляє	Видаляє частково	Не видаляє	Відсутні
6.Об'ємна фільтрація	Видаляє	Не видаляє	Видаляє частково	Не видаляє	Присутні
7.Адсорбційне очищення	Не видаляє	Видаляє	Видаляє	Не видаляє	Присутні

На підставі результатів обстеження енергетичних підприємств та аналізу діючих НТД можна зробити висновок, що найбільшою ефективністю та економічністю володіє обладнання комбінованого типу, в якому використовують комбіновану технологію, що включає

попереднє грубе очищення від механічних домішок, вакуумне осушування (дегазацію) та градієнтну об'ємну фільтрацію або електрофізичне очищення, здатного забезпечити очищення мастила у повній відповідності до вимог діючих НТД. Економічність застосування сучасних фільтрів тонкого очищення залежить від вихідного рівня забруднення трансформаторних і турбінних масел, їх застосування рекомендується при очищенні масел з невисоким початковим рівнем забруднення, або після попереднього грубого очищення (відстій, відцентрова сепарація, груба фільтрація).

Виникає питання - чи є технічна можливість зробити адсорбційне очищення маловідходним, без застосування дорогих сорбентів, як витратного матеріалу. Для цих цілей необхідно використовувати сучасні синтетичні алюмосилікатні адсорбенти, які мають високу механічну міцність і стійкість до впливу високих температур. Це дозволить селективно видалити небажані компоненти з відпрацьованого масла, а потім за допомогою контрольованого високотемпературного окиснення відновити сорбційні властивості та використовувати адсорбент багаторазово. Досвід регенерації масел дозволяє стверджувати про наявність таких сорбентів, як зарубіжного, а й вітчизняного виробництва. Такі сорбенти застосовувалися у нафтопереробці як каталізатори, але на підприємствах електроенергетики не використовувалися. На рис. 3.3. наведена схема адсорбера, яка була розроблена 50 років тому, але із застосуванням нових сорбентів дозволяє зробити процес регенерації мастила ефективним, економічно вигідним та маловідходним.

### Принципова схема класичного адсорбера для регенерації енергетичних мастил

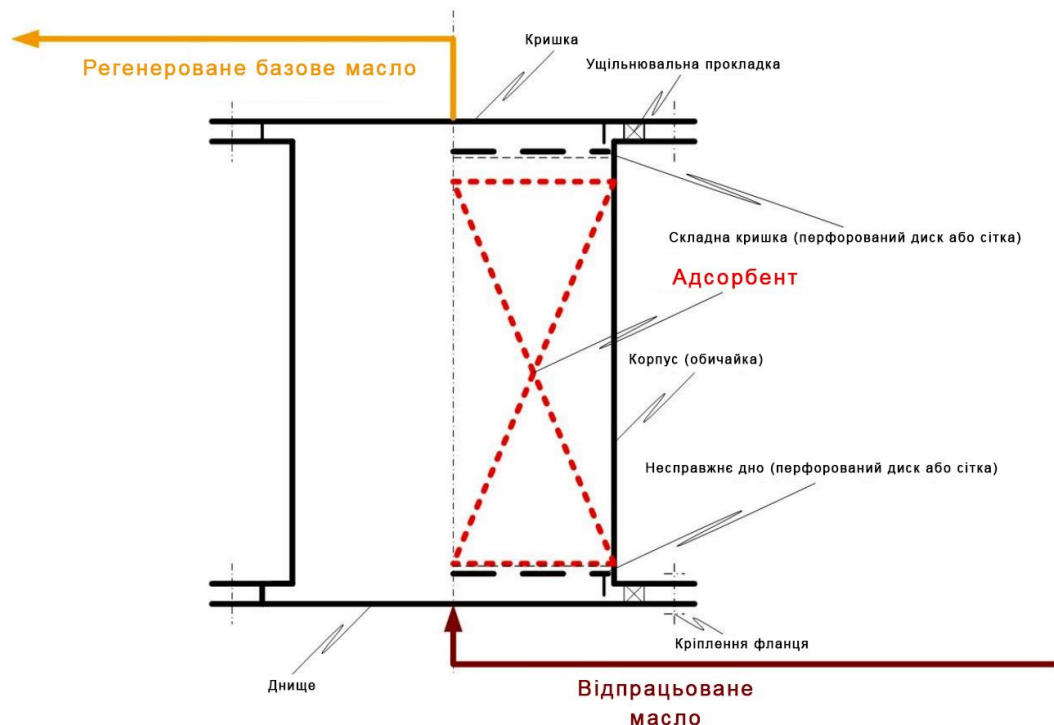


Рисунок 3.3 – Принципова схема адсорбера для регенерації мастила

Нагнітачі коксового газу працюють у складних температурних умовах та з високими навантаженнями. Для того щоб відвести надлишки тепла від деталей нагнітача та зменшити тертя у підшипниках використовуються турбінні масла, чим краще вони справляються зі своїми завданнями, тим краще працюють нагнітачі. Експлуатація забрудненої механічними домішками та водою масел призводить до підвищення температури та передчасного виходу з ладу або руйнування підшипників, нестійкої роботи системи регулювання, збільшення витрат на ремонти [1].

Тому перед виробниками постало природне завдання розробки нової машини яка б забезпечила ефективне очищення турбінних масел від води та механічних домішок і водночас добре переміщувалася в умовах обмеженого простору цеху.

Хочу зупинитися на станції масляній мобільній СММ-4,0Т.

Станція масляна мобільна СММ-4,0Т призначена для комплексного очищення турбінних масел, в'язкість яких при температурі 50°С не перевищує 280 ст. Станція забезпечує очищення оливи до 9-го класу при вихідному класі чистоти 13 при багаторазовому проходженні продукту, що очищується, через блок фільтрів. Конструкція станції передбачає підігрів оливи.

Станцію можна використовувати для роботи у таких режимах:

- фільтрація та нагрівання оливи;
- фільтрація, осушка та дегазація оливи;
- вакуумування трансформатора.

Станція масляна мобільна СММ-4,0Т із продуктивністю 4,5м<sup>3</sup>/год. Для отримання мінімально можливих габаритів у ній застосовано лише два насоси вакуумний та викачний. Функцію закачуючого насоса виконує вакуумний насос, що створює розрідження у вакуумній ємності під дією вакууму ємність наповнюється оливою, яка перед цим проходить через всі частини фільтра та нагрівається.

Розміри вакуумної ємності було зменшено, щоб зберегти ефективність сушіння оливи на високому рівні. Ємність заповнюється спеціальними кільцевими насадками, розмір кожної окремо взятої насадки невеликий, але за рахунок конструкції насадки олива розтікається на її поверхності і утворює тонку плівку, збільшуючи таким чином, корисну площу. Під дією вакууму відбувається інтенсивне випаровування вологи з оливи. Після волога збирається в ємність для конденсату. Далі включається викачний насос і викачує оливу через фільтри тонкого очищення на вихід установки. Застосування цієї технології знижує вміст вологи з 50 до 10 г на тону, а двоступіна часта система фільтрації забезпечує вміст механічних домішок на рівні не більше 10 г на тону. Установка обладнана всіма необхідними датчиками для безпечної роботи.



Рисунок 3.4 – Станція масляна мобільна СММ-4,0Т

Датчики рівня контролюють рівень оливи у вакуумній ємності та подають сигнали на відкриття або закриття електромагнітних клапанів. При появі піни датчик піни подає сигнал на клапан для її скидання, а нагрівач не почне працювати доти доки реле потоку не зафіксує появу потоку оливи. Поточна температура оливи контролюється термоопером, а термостат вчасно відключить нагрівач і не допустить перегрівання оливи, тому оператор може залишити установку на деякий час і не перейматися безпекою її роботи. Управління установкою хоч і виконується в ручному режимі, але не є складним на панелі управління знаходиться контролер, який відображає інформацію про поточний стан установки та кнопки для

керування насосами та нагрівачем після реалізації всіх конструкторських рішень.

Таблиця 3.2 – Параметри станції масляної мобільної СММ-4,0Т

№	Найменування параметра	Значення
1.	Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	4
2.	Параметри відпрацьованої оливи: — масовий вологовміст вологи, г/т, не більше — тонкість фільтрації, мкм, не більше	10 5
3.	Максимальна температура оливи на виході в режимі нагрівання, °С	55
4.	Тиск у системі, МПа, не більше	0,4
5.	Величина вакуума: — на вакуумному насосі — у вакуумній ємності	-0,75 ... -0,85 -0,65 ... -0,75
6.	Потужність нагрівача, кВт	29
7.	Питома потужність нагрівача, Вт/см <sup>2</sup> , не більше	1,2
8.	Максимальна споживана потужність, кВт, не більше	38
9.	Параметри електричного струму: — напруга, В — змінний з частотою, Гц	380 50
10.	Габаритні розміри, мм, не більше — довжина — ширина — висота	2060 1130 1980
11.	Маса, кг, не більше	700

Переваги:

- установка передбачає комплексне очищення турбінних масел термовакuumним способом протягом одного циклу.
- пристрій суттєво продовжує термін служби турбінних мастил.
- виконання можливе як стаціонарне (у контейнері, на рамі, під тентом) так і мобільне (на коліщатках, на причепі).

- установка потужна і водночас дуже проста в обслуговуванні та експлуатації.

- у комплекті йде ЗІП.

Установка СММ-4Т може використовуватися для:

- очищення турбінного мастила;
- очищення трансформаторного мастила;
- очищення гідравлічного мастила;
- очищення індустріального мастила;
- очищення кабельного мастила;
- очищення компресорного мастила;
- очищення силіконового мастила;
- очищення діелектричної рідини Midel 7131;
- очищення діелектричної рідини FR3;
- очищення оливи рентгенівських апаратів;
- очищення вогнестійкої турбінного мастила Fyrquel.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПРАВИЛА ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ

### 4.1 Загальні питання

Машинне відділення коксохімічного заводу є відповідальною ділянкою, від нормальної роботи якої залежить безперебійне функціонування коксових печей та постачання коксового газу не лише цехів заводу, а й сторонніх споживачів — металургійних та хімічних підприємств.

Сучасні нагнітачі коксового газу оснащують механізмами та приладами, що підвищують надійність їх експлуатації.

Контроль та управління виробництвом здійснюється оперативним персоналом – машиністами нагнітачів. Їхнє втручання у координацію виробничого процесу дуже ефективно. Експлуатаційний персонал повинен досконало знати конструкції нагнітачів, автоматику, способи регулювання та методи їхньої надійної та економічної експлуатації [3].

Нагнітачі експлуатують в умовах підвищеного шуму та виділення тепла, іноді в загазованому повітрі; ці важкі для людини умови притуплюють реакцію машиністів на інформацію – світлові та звукові сигнали зі щита управління. Тому збереження працездатності машиністів протягом робочого часу необхідно приділяти велику увагу.

Поліпшенням вентиляції, теплоізоляції циліндрів турбін та паропроводів, зменшенням шумів можна знижувати стомлюваність чергового персоналу. Великий вплив на стомлюваність та безпеку роботи має освітленість приміщень, вибір кольору фарбування обладнання в машинному залі.

Створення сприятливих умов роботи для експлуатаційного персоналу – це запорука підвищення надійності та безпеки

експлуатації нагнітачів. Нагнітач та їх приводи необхідно експлуатувати відповідно до виробничих інструкцій заводу, на якому вони встановлені.

В інструкції наведено коротку характеристику агрегату, вказівки щодо правил пуску, експлуатації та зупинки нагнітачів, технологічні режими нормальної роботи нагнітачів для забезпечення безперебійної роботи коксохімічних цехів заводу.

Обслуговуючий персонал зобов'язаний твердо знати пристрій агрегату, допоміжного устаткування, схеми трубопроводів, які стосуються безпосередньо їх експлуатації, і навіть знати інструкції з експлуатації цих агрегатів і схем.

Вводити нагнітач в експлуатацію після ремонту або закінчення монтажу слід лише у разі повної впевненості у безумовній їх справності та надійності при тривалій роботі.

Відповідальними моментами в експлуатації нагнітачів є пуск та зупинка. Підготовку до цих операцій слід проводити ретельно відповідно до інструкцій з даного машинного залу. Роботи проводять під керівництвом одного з керівників цеху уловлювання.

Чітке виконання всіх операцій у період пуску та зупинки попереджає можливість аварійних випадків.

Перед перемиканням нагнітачів персонал повинен бути заздалегідь проінструктований та розставлений на робочих місцях.

Зважаючи на те, що в машинних залах зазвичай шумно від працюючих машин, сигнали рекомендується подавати жестами рук. Жести повинні бути чіткими та завжди певними, що гарантує швидке взаєморозуміння та виконання перемикань. Керуючий пуском повинен вибрати таке місце, з якого йому було б видно прилади, що вказують на розрідження перед первинними газовими холодильниками, і весь оперативний персонал.

## 4.2 Підготовка нагнітача до запуску

Перед пуском нагнітача перевіряють справність гідрозатвора - він повинен бути залитий водою, а в холодну пору в нього повинна бути пущена пара для обігріву. Потім прогрівають дренажі для стоку конденсату з корпусу нагнітача, а також з всмоктувального та нагнітального газопроводів до гідрозатвору. Крани для спуску конденсату з корпусу нагнітача при прогріванні дренажів до гідрозатвору повинні бути закриті. Пропуск пари в циліндр нагнітача в цей час не допускається. Після цього пропарюють корпус нагнітача, що необхідно для видалення смолистих відкладень усередині циліндра нагнітача і особливо з робочих коліс ротора, так як відкладення можуть викликати розбалансування ротора. Щоб уникнути прогину ротора (час пропарки йому надають обертання зі швидкістю до 4 об/хв за допомогою валоповоротного механізму, а за відсутності такого механізму ротор повертають вручну) [3].

Прогрів виконують при закритих засувках на всмоктуванні та нагнітанні.

Ефективність пропарювання нагнітачів забезпечується також при ручному повертанні ротора.

Найдоцільніше вести пропарку, обертаючи ротор за допомогою валоповоротного пристрою.

Корпус нагнітач після ремонту або монтажу прогрівають, виходячи лише з необхідності видалення протикорозійних покриттів - технічного вазеліну, солідолу і т.п.

При прогріванні не слід допускати значного перепаду температур верхньої та нижньої частин корпусу, оскільки це може спричинити прогин валу ротора. Максимальна температура корпусу не повинна перевищувати 60-70 °С. Після закінчення прогріву нагнітач продувають газом у наступному порядку. Зменшують подачу

пари в корпус нагнітача, що контролюється штуцером продування корпусу. Після цього відкривають трохи засувку з боку нагнітання і створюють у корпусі нагнітач тиск газу близько 80-100 мм вод. ст., потім відкривають засувку з боку всмоктування і створюють циркуляцію газу через нагнітач протягом 5-8 хв при постійному тиску газу в нагнітачі, що становить 50-60 мм вод. ст.

Після заповнення корпусу нагнітача газом подачу пари припиняють. Надовго відкривати засувки при продуванні корпусу газом не слід, тому що це може викликати перевантаження працюючих машин і можливість обертання ротора в протилежному напрямку нормальному.

Після закінчення продування спочатку закривають засувку на лінії всмоктування, а потім на лінії нагнітання. Якщо зробити навпаки, то корпус нагнітача заповниться повітрям через лабіринтні ущільнення, внаслідок чого можуть створити умови для утворення вибухової суміші тазу з повітрям.

Якщо з будь-якої причини пуск нагнітача затримався більш ніж на 20 хв, то перед пуском треба повторити продування газом.

Продування корпусу нагнітачів газом необхідне з наступних причин:

а) заповнення корпусу нагнітача коксовим газом виключає утворення вибухової суміші та можливість вибуху;

б) у разі пуску нагнітач з приводом від електродвигуна знижується пусковий момент, так як ротор нагнітач обертається в газовому середовищі, питома вага якої приблизно втричі менше питомої ваги повітря.

#### 4.3 Перехід з 1-го на 2-й нагнітач

Перехід з 1-го на 2-й нагнітач здійснюють наступним чином:

а) відкривають засувку 2 (рис. 4.1) на нагнітанні;

б) одночасно відкриваючи засувку 5 на внутрішньому байпасі нагнітача № 1 і закриваючи засувку 3 на внутрішньому байпасі нагнітача № 2, здійснюють плавний перехід з нагнітача № 1 на нагнітач № 2. Закриття засувки 3 супроводжується збільшенням гідравлічного опору 2 у міру її закриття нагнітач збільшує видачу газу до мережі при зменшенні рециркуляції газу через пусковий байпас.

У свою чергу відкриття засувки 5 супроводжується зменшенням гідравлічного опору пускового байпасу нагнітача № 1, що веде до скорочення видачі газу в мережу цим нагнітачем внаслідок збільшення рециркуляції газу через внутрішній байпас;

в) закривають засувку 1 лінії нагнітання нагнітача № 1, після чого зупиняють нагнітач у звичайному порядку;

г) регулюють розрідження перед первинними холодильниками.

## У хімічні цеха

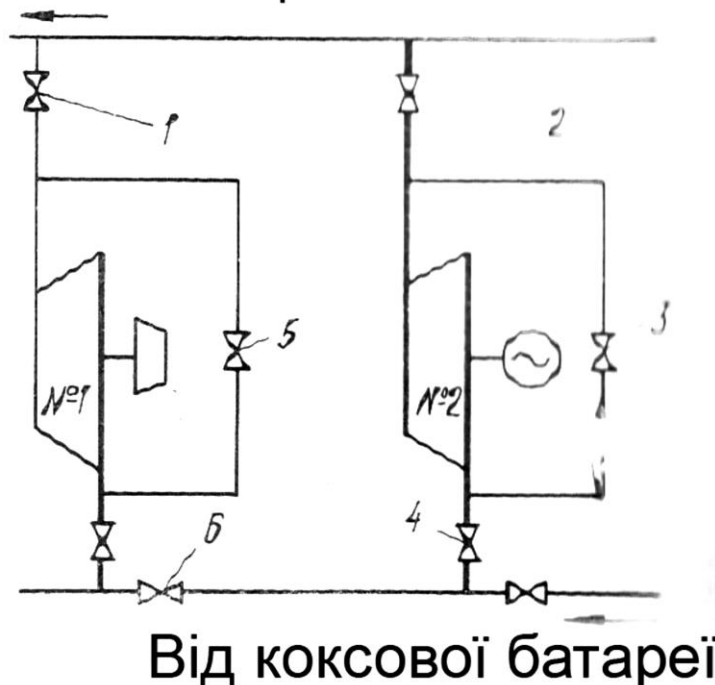


Рисунок 4.1 – Схема перемикання нагнітачів

Таким чином, у міру включення в мережу нагнітач, що зупиняється, виводиться на роботу через свій внутрішній байпас, що дозволяє виконати всі операції після здійснення пуску нагнітача.

Спостережуване підвищення температури газу при рециркуляції під час пуску перешкодою застосування цього методу, оскільки температура газу зростає досить повільно. Такий спосіб пуску успішно застосовують під час експлуатації нагнітачів типу E-1800.

Аналізуючи різні способи пуску нагнітачів коксового газу, можна зробити такі висновки:

- суттєві відмінності, узаконені внутрішньозаводськими інструкціями щодо пуску нагнітачів, технічно не обґрунтовані;
- з технічного погляду доцільно уніфікувати інструкції з пуску однотипних нагнітачів коксового газу, за типової схеми їх включення.

#### 4.4 Пуск нагнітач з електроприводом

Електродвигун готує майстер-електрик, включає машиніст у присутності майстра-електрика і тільки з дозволу персоналу електростанції.

Як правило, нагнітач пускають при закритих засувках на лініях всмоктування і нагнітання, проте дозволяється пуск і при злегка відкритих засувках (так званий пуск з циркуляцією газу).

Пуск з відкритими засувками заборонено, тому що в цьому випадку різко збільшується пусковий момент електродвигуна і потрібне спеціальне налаштування максимального захисту.

По досягненню номінального числа оборотів електродвигуна негайно відкривають засувки на лініях всмоктування та нагнітання. Першу відкривають з випередженням у порівнянні з другою; при цьому враховують регулювання навантаження.

Під час пуску та зупинок нагнітачів навантаження слід регулювати лише засувками, розташованими з боку лінії всмоктування.

Регулювання навантаження за допомогою засувки на боці нагнітання не допускається, тому що в період малого навантаження нагнітач може увійти до зони нестійкої роботи.

Після прийому навантаження засувку на лінії всмоктування повністю відкривають і включають автоматичний регулятор розрідження.

Повне відкриття засувки на лінії всмоктування необхідне для того, щоб газ не дроселювався і не порушувалася нормальна робота автоматичного регулятора.

Засувку на лінії нагнітання відкривають так, щоб газ, що нагнітається, проходив без додаткових опорів.

#### 4.5 Обслуговування нагнітачів під час експлуатації

Сучасні нагнітачі обладнані багатьма автоматичними пристроями, що покращують умови їх експлуатації та оберігають їх від пошкодження в аварійних випадках.

Тривала безаварійна робота нагнітачів можлива лише при безперервному догляді за ними та дотриманні виробничих інструкцій з експлуатації [6].

Нагнітач під час експлуатації повинен підтримувати сталість заданого розрідження перед первинними холодильниками, тому особливу увагу необхідно приділяти роботі регулюючих механізмів парових турбін та автоматичних пристроїв для підтримки постійної величини розрідження перед нагнітачами.

Не можна допускати роботу нагнітача у нестійкому режимі (пампажі). З цією метою збільшують навантаження перепуском газу з нагнітання у всмоктувальну магістраль (через байпас).

При роботі нагнітача на газі особливу увагу приділяють своєчасному і вільному видаленню з нагнітача смоли, води, що виділяються з газу, і т. п. через дренажні труби, відведені в гідрозатвор.

Основним призначенням гідрозатвору є попередження виходу газу з нагнітача через дренажні труби при максимальному тиску, що розвивається в нагнітачі.

Для виконання цієї умови дренажні труби повинні бути занурені в гідрозатвор так, щоб висота стовпа води від нижнього торця дренажної труби до рівня води в гідрозатворі перевищувала не менше ніж на 1 м максимальний напір, що розвивається нагнітачем.

Внаслідок великої в'язкості смоли повинен бути забезпечений вільний безперервний стік її з корпусу нагнітача під час його роботи. Тому дренажі повинні бути виготовлені з труб внутрішнім діаметром не менше 70 мм.

Для підтримки в рідкому стані смоли та інших опадів, що випадають у період експлуатації, дренажні труби необхідно прогрівати та підтримувати безперервно у теплом стані (50-90°C). При прогріванні дренажних труб впуск пари в корпус через отвори спуску в ньому слід продовжувати протягом мінімального часу, так як тривале інтенсивне прогрівання ротора в нерухомому стані може викликати його деформацію і вібрацію при роботі.

Тиск пари в корпусі нагнітач повинен бути не більше 0,5 кгс/см<sup>2</sup>.

Особливу увагу слід приділяти дренажам у зимовий час. Під час роботи нагнітача необхідно стежити за навантаженням електродвигуна, роботою його системи охолодження, температурою обмотки та опорних підшипників.

Основні показники роботи нагнітача та його приводу записують у спеціальний журнал машиніста.

Всі зауваження експлуатаційного персоналу з механічної несправності нагнітачів і приводів записують у книгу дефектів, і в залежності від характеру дефекту вирішують питання про можливість експлуатації та терміни виведення нагнітачів у ремонт.

#### 4.6 Аварійна зупинка нагнітача

Нагнітач необхідно негайно зупинити, якщо помічені такі несправності:

- розрив головного паропроводу чи газопроводу;
- поява диму чи вогню будь-якої частини агрегату;
- раптове виникнення сильної вібрації та металевого звуку в нагнітачі, електродвигуні або редукторі;
- раптове підвищення температури одному з підшипників агрегату вище 70°C;
- розрив маслопроводу або падіння тиску масла на мастило нижче 0,2 ат та неможливість його підвищити;
- раптове різке навантаження електродвигуна та неможливість її зниження;

При всіх випадках аварійних зупинок слід забезпечити змащення всіх підшипників за допомогою пускового або ручного масляного насоса до зупинки агрегату і протягом 3-6 хв після його зупинки.

Після цього негайно приступають до закриття засувки на видачі та лінії всмоктування. При цьому стежать, щоб ще до повної зупинки нагнітача засувка була закрыта.

У всіх випадках аварійної зупинки нагнітача машиніст зобов'язаний повідомляти про причину її начальника зміни та диспетчер заводу.

#### 4.7 Техніка безпеки під час ремонтних робіт

##### *Загальні положення*

Ремонти нагнітачів, як правило, проводить у пожежонебезпечних цехах, що діють. Агрегати, що знаходяться з експлуатації, створюють в машинних відділеннях значний шум, виділяють тепло і газ. Це негативно впливає здоров'я ремонтного персоналу.

Від керівника ремонту вимагається особлива увага до організації праці та дотримання техніки безпеки.

Незадовільна організація праці, недбалість та необережність у роботі можуть призвести до травматизму, нерідко з важкими наслідками.

Знання інструкції з техніки безпеки ремонтним персоналом є обов'язковим, і тільки після перевірки знань та оформлення результатів перевірки ІТП та робітники допускаються до виконання ремонтних робіт [16].

##### *Вибухо- та пожежонебезпечність у машинних відділеннях цехів уловлювання*

Коксовий газ у суміші з повітрям при певних співвідношеннях утворюють вибухову суміш, яка за наявності джерела опію дає вибух і сильне отруйне середовище, що містить окис вуглецю.

Якщо при 600-650 ° С в газо-повітряної суміші міститься 6,0 - 30,0% (об'ємні) коксового газу, то суміш пожежо-і вибухонебезпечна.

Найнижча межа - 6,0% (об'ємн.) - Найменша кількість коксового газу в суміші. Вища межа -30,0% (об'ємн.) - Найбільша кількість коксового газу в суміші. Газопровід від коксових печей до нагнітача перебуває під розрідженням, а після нагнітача під тиском; на першій ділянці основною небезпекою є можливість засмокування повітря всередину газопроводу, що може призвести до утворення вибухової суміші в самому газопроводі, а на другій ділянці, яка знаходиться під тиском, небезпечний вихід газу назовні, який може призвести до утворення небезпечної суміші. Остання обставина може призвести не лише до пожежі, а й до отруєння персоналу.

Виконання вогневих ремонтних робіт у машинних залах дозволяється лише після зупинки апаратури, відповідної підготовки її до ремонту, вжиття всіх запобіжних заходів, складання спеціального плану робіт та санкції на виробництво вогневих робіт. До вогневих робіт при проведенні ремонтів відносяться операції із застосуванням відкритого вогню, електрозварювальні роботи, паяльні, механічне різання та обробка металу з виділенням іскор.

#### *Безпека робіт під час ремонту*

До ремонтних робіт допускають робітників, які досягли 18 років, з прикріпленням їх до кваліфікованих робітників, які мають досвід і знають особливості ремонту нагнітачів та їх приводів-турбін [12].

Нижче наведено заходи, які дозволяють звести до мінімуму можливість травматизму.

- Деталі на робочому майданчику повинні бути покладені у стійке положення на заздалегідь підготовлені майданчики з дерев'яним настилом або стелажі так, щоб вони не захаращували проходи. Робочий майданчик повинен бути завжди чистим, так як на місцях, залитих маслом або смолою, можна послизнутися і отримати важкі забиті місця і каліцтва.

- При необхідності ведення короткочасних робіт на висоті понад 1,5 м без риштування (для підвішування такелажних пристроїв тощо) або на риштуванні без огорож обов'язково застосування запобіжних поясів. При цьому біля місця виконання таких робіт повинні бути робітники, які не зайняті іншими роботами, готові надати негайну допомогу працюючому на висоті. Запобіжні пояси випробовують через кожні 6 місяців на статичне навантаження 300 кгс протягом 5 хв. На поясі мають бути вказані його номер та дата останнього випробування.

- Робота на висоті 2 м і вище дозволяється тільки з надійних риштування з огорожами. Робота з приставних драбин допускається в окремих випадках. Висота сходів має бути не більше 5 м. Сходи виготовляють з міцного дерева з врізними перекладинами в тятиву. У верхній частині сходів у необхідних випадках передбачають гаки, внизу – металеві черевики у вигляді вістря для м'якого ґрунту та гумові черевики для поверхонь, вистелених твердими плитами.

- Знімати та встановлювати важкі деталі слід із застосуванням мостового кропу. Тяжкі деталі (ротори, кришки нагнітача і турбіни) необхідно розташовувати на несучих балках перекриття машинного залу, а не на панелях заповнення - останні відрізняються малою здатністю, що несе (400-500 кгс/м<sup>2</sup>). Монтаж та демонтаж важких деталей (масою понад 80 кг) у місцях, недоступних для робіт мостовим краном, треба виконувати за допомогою окремих підйомних механізмів.

- В якості переносного джерела світла дозволено користуватися лише вибухозахищеними світильниками та напругою не більше 12 або вибухозахищеними акумуляторними лампами.

- Під час роботи в каналах, тунелях, колодязях, газопроводах великого діаметру попередньо роблять аналіз середовища і тільки після отримання позитивних результатів приступають до роботи. При

опусканні робітника в колодязі газопроводу нагнітача його прив'язують до рятувального пояса мотузкою, другий кінець якої знаходиться у особи, поставленої на поверхні для спостереження та надання допомоги у разі потреби. У машинних відділеннях роботи виконують у присутності представника газорятувальної служби.

- Ведення робіт на трубопроводах дозволено лише після перевірки та підтвердження, що знято тиск та трубопроводи звільнені від робочої черги. Підтягування болтів фланцевих з'єднань трубопроводів після ремонту дозволяється при тиску не вище 3 кгс/см<sup>2</sup>.

Роботи на механізмах з електроприводами необхідно проводити у повній відповідності до ПТБ електроустановок.

Особливу увагу слід звертати на справність інструменту та гайкових ключів. Для попередження іскор треба застосовувати обмінені ломки та вибивання з кольорового металу.

#### 4.8. Небезпечні речовини, які застосовуються у виробництві цеху уловлювання продуктів коксування

На різних стадіях технології застосовуються як сировина наступні речовини:

Коксовий газ – газ бурого кольору з питомою вагою 0,45 кг/м<sup>3</sup>, що має в своєму складі близько:

- 60 % водню;
- 5,5 % оксиду вуглецю (II);
- 2,8 % оксиду вуглецю (IV);
- 2,2 % ненасичених вуглеводнів;
- 0,8 % кисню;
- 25 % метану;

- 0,6 % сірководню;
- 3,1 % азоту.

Коксовий газ вибухонебезпечний і пожежонебезпечний. Нижня межа вибуховості – 5 % об., верхня межа вибуховості – 35 % об. Коксовий газ отруйно діє на організм людини. Клас небезпеки - 4. Токсичність обумовлена властивостями компонентів, які входять в склад коксового газу.

Оксид вуглецю (II) – газ без кольору, без смаку, з дуже слабким запахом. Газ є сильною отрутою, яка вступає в реакцію з гемоглобіном крові і викликає кисневе голодування. При вдиханні на протязі декількох годин повітря з вмістом окислу вуглецю всього 0,01-0,02 % можливе отруєння, а при вмісті 0,2 % (2,4 мг/м<sup>3</sup>) через 30 хвилин може наступити знепритомлення. Легке отруєння супроводжується головним білем, блюванням, прискореним серцебиттям, схильністю до втрати свідомості. При середній важкості настає запаморочення, порушується дихання, важка форма отруєння характеризується втратою свідомості. Клас небезпеки – 4. ГДК в повітрі робочого приміщення 20 мг/м<sup>3</sup>.

Оксид вуглецю (IV) – безбарвний інертний газ, кислуватого смаку і запаху. Не горить і не підтримує горіння. Мала концентрація CO<sub>2</sub> в повітрі (близько 1%) не токсична, при збільшенні її до 4-5% відзначається сильне подразнення органів дихання, а при 10 % можливе сильне отруєння. В продуктах горіння вміст CO<sub>2</sub> може досягати 11-13 %.

Сірководень – безбарвний газ з запахом тухлих яєць. Сірководень важчий за повітря (густина 1,5 кг/м<sup>3</sup>). При його згоранні утворюється вода і сірчистий газ, який також отруйний. Сірководень - сильна і дуже небезпечна отрута, викликає смерть від зупинки дихання. Сірководень подразнює слизові оболонки дихальних шляхів і очей, але в основному діє на нервові центри, які контролюють

дихання і серцеву діяльність. Ознаки отруєння: різь в очах, світлобоязнь, головний біль, кашель, прискорене серцебиття, слабкість. При сильному отруєнні – нудота, блювання, втрата свідомості. Сірководень роз’їдає метали, особливо при наявності вологи. Клас небезпеки - 2. ГДК 10 мг/м<sup>3</sup>. [3]

Таблиця 4.1 – Дія деяких токсичних газів на людину

Тривалість і характер дії	Вміст в повітрі, % об.		
	CO	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Декілька годин без видимого впливу	0,01	0,0025	0,0015
Признаки легкого отруєння або подразнення слизових оболонок через 2-3 години	0,01-0,5	0,005	0,005-0,008
Можливе сильне отруєння через 30 хвилин	0,2-0,3	0,008-0,015	0,02-0,03
Небезпечно для життя при короткочасній дії	0,5-0,8	0,06	0,05

*Концентрована сірчана кислота* – ДСТУ 2184-77. Масляниста безбарвна рідина. Питома вага 1,825 г/м<sup>3</sup>. Температура кипіння 304,3 °С, температура кристалізації 10,5 °С. Змішується з водою в будь-якому стані, виділяючи велику кількість теплоти. Хімічно - активна речовина. При попаданні на шкіру викликає сильні опіки. Подразнює слизові оболонки верхніх дихальних шляхів, вражає легені. Клас небезпеки 2.

ГДК туману –1 мг/м<sup>3</sup>.

Аміачна вода – водний розчин аміаку. Вміст аміаку в аміачній воді складає 15 % (по масі). Токсичність обумовлена властивостями

аміаку. Аміак – токсична речовина з різким специфічним запахом. Згідно ГОСТ 12.1.007–76 відноситься до 4 класу небезпеки.

При невеликих концентраціях подразнює верхні дихальні шляхи, викликає сльозоточіння. При високих концентраціях збуджує центральну нервову систему, викликаючи судороги. При гострих отруєннях може наступити смерть від набряку легенів і серцевої недостатності. Дія газоподібного аміаку на людину характеризується такими показниками (в мг/м<sup>3</sup>):

Поріг сприймання нюхом	35
Відчуття подразнення слизових оболонок	100
Можлива небезпека для життя	350-700

Аміачна вода, попадаючи на шкіру і слизові оболонки, викликає хімічні опіки. ГДК – 7,0 мг/м<sup>3</sup> (атмосферне повітря території промислових підприємств). ГДК – 20 мг/м<sup>3</sup> (в повітрі виробничих приміщень)

*Луз (їдкий натр)* – ГОСТ 2263-79. В чистому вигляді являє собою безбарвну рідину з питомою вагою 1,2-1,45 г/см<sup>3</sup>. Діє на шкіру і очі. Навіть найменша кількість при попаданні в очі поразляє не тільки роговицю, а й більш глибокі частини. Наслідком може бути сліпота. ГДК по аерозолю – 0,5 мг / м<sup>3</sup>.

*Масло кам'яновугільне вбирне* – ТУ У 32200190443-117-97 – рідина від жовтого до коричневого кольору, яка швидко темніє і має фіолетовий відтінок, питома вага 1050 - 1068 кг/м<sup>3</sup>. Пожежонебезпечне. Діапазон займання пари вбирного масла 100-130 °С. Температура спалаху 110-115 °С, температура займання 127-130 °С, температура самозаймання 478-480 °С.

Вбирне масло – токсичний продукт. При вдиханні парів можуть виникнути отруєння, які виражаються в подразненні верхніх дихальних шляхів, головному болі, головокружінні. При тривалому контакті шкіряних покривів з маслом можуть виникнути запальні

процеси. Клас небезпеки - 4. ГДК нафталіну і фенолу (найбільш токсичних компонентів вбирного масла) в повітрі робочих приміщень – 20 і 0,3 мг/м<sup>3</sup> відповідно.

Готовою продукцією технологічного процесу є:

*Смола кам'яновугільна* – ТУ У 23.1-00190443-100:2007. Темнокоричнева в'язка рідина із специфічним запахом, являє собою суміш вуглеводнів самих різноманітних видів. Густина 1200 кг/м<sup>3</sup>. Ураження шкіри виникає при прямому контакті з рідкою кам'яновугільною смолою. Сонячне світло значно підсилює дію смоли на шкіру. Пари кам'яновугільної смоли викликають втрату свідомості, судороги, ураження нирок, набряк легенів. Наслідком може бути психічне захворювання. При дії невеликих концентрацій завжди треба рахуватися з можливістю хронічного отруєння бензолом. У постійно працюючих з кам'яновугільною смолою підвищена небезпека захворювання раком. Клас небезпеки - 2. ГДК – 0,00015 мг/м<sup>3</sup>.

*Амонію сульфат коксохімічного виробництва* – ТУ У 24.1-00190443-067:2007. Біла кристалічна речовина з питомою вагою 1,76 г/см<sup>3</sup>. Пожежо - і вибухобезпечний. Пил подразнює слизові оболонки дихальних шляхів і шкіру.

*Смола важка з кислій смолки вловлювання для дорожнього будівництва* – ТУ У 322-00190443-131-98. В'язка чорна маса із специфічним запахом. Токсична. При довготривалому впливі на організм пари викликають подразнення верхніх дихальних шляхів і шкіряних покривів. Після припинення контакту ці явища зникають. Пожеженебезпечна.

*Феноляти* – ТУ У 322-00190443-046-98. Слабко лужний розчин натрієвої солі фенолів. Вибухопожежебезпечні. Мають слаботоксичні властивості. Токсичність фенолятів натрію обумовлена токсичністю основних компонентів домішків – нафталіну, ксилолу, піридину. Викликають подразнення слизових оболонок дихальних шляхів,

почервоніння і подразнення шкіри, загальну слабкість. При попаданні на шкіру їх необхідно видалити ватним або марлевым тампоном і промити уражене місце теплою водою з милом. При роботі з фенолятами необхідно використовувати засоби індивідуального захисту: захисні окуляри, костюми бавовняні, взуття шкіряне.

*Бензол сирий кам'яновугільний* – ТУ У 24.1-00190443-003-2003. Прозора легкозаймиста, легко рухома рідина, становить собою суміш бензолу і його гомологів. Температура займання 10,7 °С, температура спалаху мінус 14 °С. Діапазон вибуховості 1,43 – 8 % об. Температурний діапазон вибуховості мінус 14 – плюс 12 °С. Максимальний тиск при вибуху 882 кПа. Максимальна швидкість наростання тиску 15,8 кПа. Максимальна швидкість розповсюдження полум'я 0,478 м/с. Сирий бензол – токсичний продукт. Пари бензолу викликають подразнення, а при концентраціях вище ГДК мають загально токсичну дію на організм людини з порушенням функцій нервової системи, печінки, кровотворної і судинної системи. При попаданні на шкіру бензол подразнює її, викликає сухість, тріщини, свербіння. Має властивість проникати через неушкоджену шкіру і акумулюватися в організмі людини з наступною хронічною токсикацією. Симптоми отруєння: загальна слабкість, запаморочення, нудота, блювання, головний біль. Клас небезпеки - 2. ГДК – 5 мг / м<sup>3</sup>

Так як коксовий газ – вибухопожеженебезпечний газ з достатньо широким діапазоном вибуховості і низькою нижньою межею вибуху, знаходиться в обладнанні цеху уловлювання в значних об'ємах, тому найбільш вірогідна небезпека, яка може виникнути внаслідок аварії, це утворення вибухонебезпечних концентрацій з послідуочим вибухом та пожежею.

Велику небезпеку становить собою коксовий газ, оскільки він горить, а в суміші з повітрям може утворювати вибухові суміші. Крім

того, коксовий газ характеризується великою різницею між нижньою і верхньою межею вибуховості. Не менш небезпечними властивостями коксового газу є високий тиск (до 10 кгс/см<sup>2</sup>) продуктів горіння при вибуху, що викликає руйнуючі дії властивість до електризації при русі по трубопроводах корозійна дія на трубопроводи, апарати, арматуру і можливість утворення в окремих випадках пірофорного сірчаного заліза, так як в своєму складі містить сірководень.

Значну небезпеку становить собою сирий бензол, оскільки це дуже токсична легкозаймиста рідина (температура спалаху - 14 °С) і знаходиться в перегрітому стані. Практично в любых умовах (літом чи зимою) над поверхнею рідини завжди є достатня кількість пари, яка неодмінно спалахне при наявності любого джерела займання. Діапазон вибуховості парів бензолу в суміші з повітрям не широкий, але велику небезпеку становить низьке значення нижньої межі, тобто суміш парів бензолу з повітрям стає вибухонебезпечною вже при вмісті всього 1,43 % парів бензолу, а значить, небезпечні навіть невеликі викиди в закриті приміщення. Температурний діапазон вибуховості від мінус 14 до плюс 12 °С (температура рідини, при якій утворюються вибухонебезпечні концентрації пари). Пари бензолу з повітрям вибухонебезпечні. При вибуху паро-повітряних сумішей бензолу розвивається тиск до 8 кгс/см<sup>2</sup>.

Пожежонебезпечні характеристики бензолу мають такі показники:

- висока густина парів (2,77 по повітрю), внаслідок чого пари бензолу накопичуються в нижніх частинах приміщень;
- мала густина рідини (880 кг/м<sup>3</sup>);
- властивість бензолу при русі накопичувати статичну електрику, так як він діелектрик;

- велика теплота (3169,4 кДж / моль) і швидкість згоряння (лінійна швидкість згоряння бензолу з вільної поверхні складає 30 см/год , швидкість вигорання 0,112 кг/м<sup>2</sup>с).

Кількісна оцінка теплового випромінювання при пожежі проводилась згідно НАПБ Б.03.002-2007 “Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою”. [3]

Кількісна оцінка вибухонебезпечності і наслідків вибуху проводилась згідно ДНАОП 1.3.00-1.01-88 “Загальні правила вибухобезпеки для вибухопожеженебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв”. В аналізі також використовувалась нормативно - технічна документація, в якій регламентуються безпечні способи роботи з горючими газами в промисловості.

При розрахунках кількість парів, газів, що надійшли в приміщення і які можуть утворити вибухонебезпечні суміші з повітрям, визначається, виходячи з наступних припущень:

- вважається, що відбудеться аварія одного з апаратів (найбільшого), при якій в приміщення може поступити найбільша кількість небезпечної речовини. Якщо в апараті знаходяться різні речовини, то в розрахунок приймаються найбільш небезпечні

- розрахунок проводиться при умові, що весь вміст найбільш небезпечного апарату вийде в приміщення

- в розрахунках враховується, що відбувається одночасно виток речовин з трубопроводів, що живлять апарат протягом часу, необхідного для відключення трубопроводів. Цей час при автоматичному відключенні приймається рівним 2 хвилинам, а при ручному – 5 хвилин

- вважається, що відбувається випаровування з поверхні проливу. Площа випаровування приймається рівній площині дзеркала рідини

- тривалість випаровування рідини визначається часом повного випаровування, але не більше 1 години.

## РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНИХ ВТРАТ.

Економічні втрати [7] під час зупинки нагнітача коксового газу через стан мастила в маслосистемі складатимуться з:

- екологічний податок на викид;
- закупівля масла;
- утилізація відпрацьованого мастила.

*Коксовий газ* – газ бурого кольору з питомою вагою 0,45 кг/м<sup>3</sup>, що має в своєму складі близько:

- 60 % - водню;
- 5,5 % - оксиду вуглецю (II);
- 2,8 % - оксиду вуглецю (IV);
- 2,2 % - ненасичених вуглеводнів;
- 0,8 % - кисню;
- 25 % - метану;
- 0,6 % - сірководню;
- 3,1 % - азоту.

Перехід з газодувки на газодувку здійснюється за регламентом протягом 48 хвилин. За цей період часу в атмосферу спалюється 21 000 м<sup>3</sup> коксового газу.

Маса цього газу -  $21\ 000 * 0,45 = 9\ 450$  кг.

Вага складових коксового газу:

- 60 % водню – 5 670 кг
- 5,5 % оксиду вуглецю (II) - 519,75 кг
- 2,8 % оксиду вуглецю (IV) – 264,6 кг
- 2,2 % ненасичених вуглеводнів – 207,9 кг
- 0,8 % кисню – 75,6 кг
- 25 % метану – 2 362,5 кг
- 0,6 % сірководню – 567 кг

- 3,1 % азоту – 292,95 кг

Розрахуємо екологічний податок за кожною складовою коксового газу:

- водень –  $5,670 \text{ т} * 30 \text{ грн} = 170,1 \text{ грн}$ ;
- оксиду вуглецю (II) –  $0,51975 \text{ т} * 96,99 \text{ грн} = 50,41 \text{ грн}$ ;
- оксиду вуглецю (IV) –  $0,2646 \text{ т} * 96,99 \text{ грн} = 25,66 \text{ грн}$ ;
- ненасичених вуглеводнів –  $0,2079 \text{ т} * 145,50 \text{ грн} = 30,24 \text{ грн}$ ;
- кисню –  $0,0756 \text{ т} * 30 \text{ грн} = 2,26 \text{ грн}$ ;
- метану –  $2,3625 \text{ т} * 145,50 \text{ грн} = 343,74 \text{ грн}$ ;
- сірководню –  $0,567 \text{ т} * 7\,879,65 \text{ грн} = 4\,467,76 \text{ грн}$ ;
- азоту –  $0,29295 \text{ кг} * 2\,451,84 \text{ грн} = 718,26 \text{ грн}$ ;

Усього: 5 808,43 грн;

Для підприємства ця сума не є великою, але для довкілля та мешканців міста такий викид коксового газу позначається негативно.

Для заміни мастила в ППР, у разі не якісного аналізу, вартість становить (за повної заміни 1 400 л мастила турбінне ТП-22С):

Вартість масла взята з відкритих джерел в інтернеті [23]:

Вартість масла =  $1\,400 \text{ л} * 116,16 \text{ грн/л} = 162\,634,08 \text{ грн}$

Вартість утилізації оливи (договір з утилізації ПММ 2024 року) =  $1\,400 \text{ л} * 2,2 \text{ грн/л} = 3\,080 \text{ грн}$

Усього, можливі втрати при аварійній зупинці нагнітача коксового газу за якістю мастила в маслосистемі:

$162\,634,08 + 5\,808,43 + 3\,080 = 171\,522,51 \text{ грн}$

## ВИСНОВКИ

У відповідності до поставлених задач у магістерської роботи було досліджено питання підвищення експлуатаційної надійності нагнітача коксового газу для запобігання наднормативних викидів діоксиду карбону.

На основі результатів проведеної роботи зроблені наступні висновки.

1. Очікується, що найближчими роками буде розроблено нові, ще більш ефективні та екологічно чисті методи відкачування коксового газу. Це дасть змогу підвищити ефективність коксохімічного виробництва, знизити його негативний вплив на навколишнє середовище і зробити його більш конкурентоспроможним.

Наразі на коксохімічних підприємствах України немає можливості перейти на нові, більш економічні, методи видалення коксового газу з батарей. Для цього потрібна часткова зміна технологічного процесу підприємства, яка призведе до тимчасової повної зупинки підприємства. Тому на підприємствах України продовжують працювати НКГ різних модифікацій.

2. Було проведено аналіз причин відмов та несправностей нагнітачів коксового газу:

- побудовано дерево відмов нагнітача коксового газу;
- побудовано дерево відмов в булевих тотожностях;
- було проведено аналіз надійності нагнітача коксового газу.

На основі розрахунків виявлені самі «слабкі місця» нагнітача: ротор, маслосистема, підшипники ковзання.

3. На основі дослідження був запропонован метод та спосіб підвищення надійності нагнітача коксового газу, який полягає у

збільшені якості та тривалості експлуатації мастила у системі маслостачання та регулювання.

4. На основі даних об'єму газу та мастила в маслосистемі була оцінена екологічна, операційна та економічна ефективність запропонованих заходів. Сумарна ефективність при одній зупинці нагнітача з вини стану мастила дорівнює 171 522,51 грн

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. М. С. Кулик, Нагнітачі природного газу: підручник / М. С. Кулик, К. І. Капітанчук, М. П. Андріїшин. – К.: НАУ, 2022. – 224 с.
2. Кауфман А.А., Технологія коксохімічного виробництва / А.А. Кауфман, Г.Д. Харлампович - Єкатеринбург: Видавничий дім ВУХІН, 2005 - 288 с.
3. Постійний технологічний регламент цеху уловлювання та переробки хімічних продуктів коксування. Дніпродзержинськ: ВАТ "Дніпродзержинський КХЗ", 2003. 78 с
4. Гаркунов Д.М. Триботехніка (конструювання, виготовлення та експлуатація машин): Підручник. М.: Вид-во МСХА, 2002. 632 с
5. Ушаков І. А. Курс теорії надійності систем: навчальний посібник/ Ушаков І. А. - М.: Дрофа, 2008. - 239 с.
6. Ковальов Є. Т. Довідник коксохіміка. Том 3. Уловлювання та переробка хімічних продуктів коксування/ Є. Т. Ковальов. - Харків: Видавничий дім "ІНЖЕК", 2009. - 432 с.
7. Економіка підприємства : підручник / за заг. ред. д.е.н., проф. Л. Г. Мельника. – Суми : Університетська книга, 2019. – 864 с
8. Автоматизація виробничих процесів: підручник/ І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене – К.: Вид. Ліра-К, 2017. – 378 с.
9. Маліков І. М. Основи теорії та розрахунку надійності/ Маліков І. М., Половко А. М., Романов Н. А., Чукреєв П. М., Романов Н. А., Чукреєв П. А. - 2-е изд. - Л.: Судпромгиз, 2000. - 144с.
10. Коляндр Л.Я. Уловлювання і переробка хімічних продуктів коксування./Коляндр Л.Я. - Металлургиздат, 1955 - 418 с.
11. Ткачов В.С., Устаткування коксохімічних заводів/ Ткачов В.С., Остапенко М.А. Металургія, 1983 - 361 с.

12. Александров К.И. Газодувки/ Александров К.И. Металлургиздат, 1961 р. - 223 с.
13. Кисельов Г.Ф. Технічне обслуговування і ремонт відцентрових компресорних машин/ Кисельов Г.Ф., Мыслицкий Е.Н. - М., Хімія 1979 - 128 с.
14. Ковальов Г.М. Нагнітачі коксового газу / Ковальов Г.М., Корон М.В., Лівшиц Л.В., изд-во "Металлургия", 1972 - 192 с.
15. Довідник "Обладнання цехів уловлювання", М. Металургія, 1992 – 255
16. Мислицький Є.М. Ремонт устаткування компресорних установок. (Навчальний посібник для робітничої освіти)/ Мислицький Є.М. - М.: Хімія, 1985 - 192 с.
17. Казанський В.М. Системи змащення парових турбін/ Казанський В.М. М., Энергия, 1974 - 224 с.
18. Молочек В.А. Ремонт парових турбін/ Молочек В.А. 1968.
19. Діллон Б., Сінгх Ч. Інженерні методи забезпечення надійності систем. - М.: Мир, 1984.-318 с.
20. Хенлі Е. Дж., Кумамото Х. Надійність технічних систем і оцінки ризику. - М.: Машинобудування, 1984, -528 с.
21. Муромцев Ю. Л. Безаварійність і діагностика порушень у хімічних виробництвах. М.: Хімія, 1990. - 144 с
22. Устаткування цехів уловлювання та переробки продуктів коксування З. І. Башлай, Є. Л. Волков, Я. Л. Горелик, Л. М. Коваленко, Л. Б. Любимова, В. П. Сибірко, Т. А. Суботіна, - М.: Металургия, 1992, - 254с.
23. [https://doautoplus.in.ua/p1765787701-turbinnoe-maslo-22s.html?source=merchant\\_center&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiA74G9BhAEEiwA8kNfpS\\_NIJdAzZINqJSkGWwG3NZqUFxmicMmJyFBQlcWO RvrEL0J-z-oyBoCK48QAvD\\_BwE](https://doautoplus.in.ua/p1765787701-turbinnoe-maslo-22s.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA74G9BhAEEiwA8kNfpS_NIJdAzZINqJSkGWwG3NZqUFxmicMmJyFBQlcWO RvrEL0J-z-oyBoCK48QAvD_BwE) - ТУРБИННОЕ МАСЛО ТП-22С

Optimal Oil 50л: продажа, цена в Черкассах. Трансмиссионные и гидравлические масла от "ДО АВТО ПЛЮС" - 1765787701