

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра хімії і хімічної технології

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ А.Д. Кустовська  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»**

за спеціальністю: 161 «Хімічні технології та інженерія»  
освітньо-професійної програми «Хімічні технології палива та вуглецевих  
матеріалів»

**Тема: «Застосування гідрогенізаційних процесів у технології  
виробництва олив для турбореактивних двигунів авіаційної техніки»**

Виконавець: Лобанова Катерина Олександрівна, група ХП - 405Б \_\_\_\_\_

Керівник: доцент, к.т.н. Єфименко В.В. \_\_\_\_\_

Нормоконтролер: доцент, к.х.н. Максимюк М.Р. \_\_\_\_\_

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра хімії і хімічної технології  
Спеціальність: 161 «Хімічні технології та інженерія»  
ОПП «Хімічні технології палива та вуглецевих матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ А.Д.Кустовська  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

Лобановій Катерині Олександрівні

1. Тема дипломної роботи: “ Застосування гідрогенізаційних процесів у технології виробництва олив для турбореактивних двигунів авіаційної техніки. ” затверджена наказом ректора від 20.04.2022р. № 417/ст.
2. Термін виконання роботи: з 23.05.2022 по 19.06.2022р.
3. Вихідні дані до роботи : гідрогенізаційні процеси.
4. Зміст пояснювальної записки: ВСТУП. РОЗДІЛ 1. ОЛИВИ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ. 1.1 Умови роботи олив у турбореактивних двигунах. 1.2 Особливості олив для турбореактивних двигунів. РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ОЛИВ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ. 2.1. Підготовка нафти до переробки. Зневоднення та знесолення нафти. 2.2. Ректифікаційний процес перегонки нафти. 2.3. Блок атмосферно-вакуумної трубчатки. 2.4. Гідроочистка в процесах виробництва олив. 2.5 Гідрокрекінг в процесах виробництва олив для реактивних двигунів. РОЗДІЛ 3. ОЛИВИ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ. 3.1. Номенклатура та показники якості олив для турбореактивних двигунів. 3.2. Синтетичні оливи для турбореактивних двигунів. 3.2.1. Оливи на основі складних ефірів. 3.2.2.

Поліалкілгліколеві оливи. 3.2.3. Оливи на основі кремнійорганічних сполук.  
3.2.4. Фторвуглецеві оливи. 3.3. Застосування присадок для покращення якості авіаційних олив. ВИСНОВОК. СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстрованого) матеріалу:

- технологічна схема змащувальної системи газотурбінного реактивного двигуна;
- принципові схеми перегонки нафти.

6. Календарний план-графік:

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Одержання теми дипломної роботи. Складання плану роботи над дипломом.	23.05.22 - 24.05.22р.	
2	Аналітичний огляд науково-технічної літератури за тематикою кваліфікаційної бакалаврської роботи	24.05.22 - 30.05.22р.	
3	Огляд зарубіжних та вітчизняних гідрогенізаційних процесів в технології виробництва олив для турбореактивних двигунів.	31.05.22 - 12.06.22р.	
4	Оформлення пояснювальної записки і доповіді. Оформлення презентації.	13.06.22 - 14.06.22 р.	

7. Дата видачі завдання: "23" травня 2022р.

Керівник дипломної роботи Єфименко В.В.  
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання Лобанова К.О.  
(підпис випускника) (П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Застосування гідрогенізаційних процесів у технології виробництва олив для турбореактивних двигунів авіаційної техніки»: 65 стор., 2 табл., 10 рис., 22 використаних літературних джерел

НАФТА, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ОЛИВ, РЕКТИФІКАЦІЯ, ГІДРОГЕНІЗАЦІЯ, ГІДРОКРЕКІНГ, ГІДРООЧИЩЕННЯ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ОЛИВ

**Мета дипломної роботи** – дослідження технології виробництва олив для турбореактивних двигунів авіаційної техніки.

**Об’єкт дослідження** – гідрогенізаційні процеси в одержанні олив для турбореактивних двигунів.

**Предмет дослідження** – переробка нафти для одержання моторних олив.

У роботі розглянуто умови роботи олив у турбореактивних двигунах, технологічні процеси підготовки нафти до переробки, застосування гідрогенізаційних процесів у технології виробництва олив.

Для покращення якості проводиться процес каталітичного гідроочищення, який застосовується для підвищення окисної стабільності вуглеводнів та вилучення сірко-, азото- та кисневмісних сполук, що негативно впливають на експлуатаційні властивості олив.

Наведено основні показники якості мінеральних олив для турбореактивних двигунів.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 .....	8
ОЛИВИ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ.....	8
1.1. Умови роботи олив у турбореактивних двигунах .....	8
1.2 Особливості олив для турбореактивних двигунів .....	11
РОЗДІЛ 2.....	14
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ОЛИВ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ .....	14
2.1. Підготовка нафти до переробки. Зневоднення та знесолення нафти. ....	14
2.2. Ректифікаційний процес перегонки нафти.....	18
2.3. Блок атмосферно-вакуумної трубчатки.....	19
2.4. Гідроочистка в процесах виробництва олив. ....	29
2.5. Гідрокрекінг в процесах виробництва олив для реактивних двигунів.....	34
РОЗДІЛ 3 .....	41
ОЛИВИ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ.....	41
3.1. Номенклатура та показники якості олив для турбореактивних двигунів	41
3.2. Синтетичні оливи для турбореактивних двигунів.....	43
3.2.1. Оливи на основі складних ефірів .....	43
3.2.2. Поліалкілгліколеві оливи .....	45
3.2.3. Оливи на основі кремнійорганічних сполук. ....	48
3.2.4. Фторвуглецеві оливи.....	52
3.3. Застосування присадок для покращення якості авіаційних олив. ....	56
ВИСНОВОК.....	62
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	63

## ВСТУП

Повітряні судна працюють за різних кліматичних та експлуатаційних умов. Системи змащування та паливо забезпечення повинні зберігати свою працездатність при різних навантаженнях і температурах від  $-60^{\circ}\text{C}$  до кількох сотень вище нуля, як при атмосферному тиску на землі, так і на висотах понад 10 км.

Розвиток авіаційного транспорту приводить, як до подальшого підвищення якості мастильних матеріалів, що застосовуються, так і до збільшення їх кількості.

Змащувальні матеріали для реактивних двигунів повинні задовольняти цілому ряду вимог, пов'язаних з економічністю, надійністю і довговічністю роботи авіаційної техніки. Забезпечення найголовнішої вимоги – безпечної роботи авіаційної техніки залежить від їх якості.

Змащувальні матеріали мінерального походження одержується в результаті переробки нафти. Недоліками мінеральних змащувальних матеріалів є те, що вони застигають при охолодженні за температури нижче  $-20^{\circ}\text{C}$ , випаровуються і окиснюються при нагріванні за температури вище  $150 - 200^{\circ}\text{C}$ . Синтетичні мастильні матеріали, які виробляються на основі спиртів, ефірів і кремнійорганічних сполук, відзначаються високими експлуатаційними властивостями (у тому числі і термостійкістю), однак мають поки обмежене застосування, тому що вони дорожчі нафтових.

Великого поширення на сьогодні отримали гідрогенізаційні процеси в технології переробки нафти для одержання не лише високоякісних палив, а й олив.

Гідроочистка застосовується для вилучення з дистилатних фракцій олив кисне-, азото-, сірковмісних сполук, зниження вмісту ненасичених вуглеводнів, які погіршують їх термоокисну стабільність та експлуатаційні властивості.

Поряд з гідроочисткою широко використовують і другий гідрогенізаційний процес в технології переробки нафти – гідрокрекінг, який дозволяє переробляти важкі залишки для одержання більш широкої сировинної бази в технології виробництва олів та інших продуктів (бензину, реактивного та дизельного палива).

Гідрокрекінг також дозволяє перетворювати важкий газойль, мазут в більш легкі дистиляти нафтопродуктів, в тому числі олівні дистиляти.

Тому, метою дипломної роботи є розгляд основ та особливостей технологічних процесів підготовки нафти до переробки, одержання олівних фракцій, а також застосування гідрогенізаційних процесів у технології переробки нафти для одержання високоякісних мінеральних олів.

# РОЗДІЛ 1

## ОЛИВИ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ

### 1.1. Умови роботи олив у турбореактивних двигунах.

На більшості моделях реактивних двигунів підшипники, турбіни та турбонасосних агрегатів змащувалися мінеральними оливами.

З усіх типів повітряно-реактивних двигунів тільки турбокомпресорні потребують змащування. Безкомпресорні повітряно-реактивні двигуни не мають агрегатів, що обертаються, і для них не потрібна олива (за винятком невеликої кількості для змащування сервоприводів і допоміжних механізмів). В даний час набули поширення два типи турбокомпресорних двигунів: турбореактивні (ТРД) і турбогвинтові (ТГД). Турбореактивні двигуни мають високооборотний турбокомпресорний агрегат, що складається з повітряного компресора та газової турбіни. Турбокомпресорний агрегат розміщується на підшипниках, для змащування яких необхідна подача оливи. ТГД додатково мають повітряний гвинт, що обертається від турбокомпресорного агрегату через шестерний редуктор, шестерні якого працюють при дуже високих навантаженнях. У зв'язку з цим умови роботи олив у ТРД та ТГД істотно різняться. Тому в даний час використовують дві групи олив для реактивних двигунів: оливи для ТРД та оливи для ТГД [1].

Маслосистема ТРД конструктивно значно простіша, ніж у поршневій двигунах. Найбільшого поширення в ТРД набули циркуляційно-замкнуті маслосистеми.

Від оливи та роботи маслосистеми залежить надійна робота вузлів тертя ТРД та гранична висота польоту реактивного літака. При збільшенні висоти польоту підвищується спінювання оливи та зменшується наповнення масляного насоса. Це призводить до втрати тиску оливи в системі та порушення нормальних умов змащування агрегатів двигуна. Випробування показали, що циркуляційно-замкнуті маслосистеми на висотах більш надійні



в роботі. Вони забезпечують надійне змащування двигуна на висоті 21,5 км та вище [1].

Змащування та охолодження підшипників в ТРД здійснюються прокачуванням циркулюючою оливою, або оливою і повітрям одночасно. Експлуатація двигунів із системою змащування та охолодження підшипників тільки циркулюючою оливою показала, що вона ненадійна, тому що в процесі роботи двигуна ущільнювальні кільця підшипників турбіни внаслідок високих температур втрачають пружність, що призводить до витоку оливи з підшипника. Крім того, застосування подібної системи призводить до небажаного збільшення кількості оливи в системі змащування і ускладнення схеми.

В даний час на більшості двигунів для охолодження підшипників поряд з оливою застосовують повітря. Принципова схема змащувальної системи газотурбінного реактивного двигуна та температур у підшипниках показана на рис.1.1.

Температура підшипників регулюється шляхом прокачування через них різної кількості оливи, що є одним з охолоджуючих агентів ТРД. Так, через підшипники турбіни прокачується приблизно вдвічі більше оливи, ніж через підшипники компресора. Кількість оливи, що подається до підшипників, залежить також від навантажень на них. До більш навантажених підшипників ТРД з осьовим компресором подається в 3-6 разів більше оливи, ніж до підшипників ТРД з відцентровим компресором.

Зі збільшенням кількості оборотів турбокомпресора температура підшипників підвищується. Водночас зростає температура оливи. У сучасних дозвукових ТРД температура оливи досягає 75-90 ° С. У турбореактивних двигунах із системою змащування без маслорадіатора олива охолоджується до температури 60-70 ° С безпосередньо в масляній системі; а в системах з маслорадіатором олива охолоджується до 30-40 ° С [2].

У двигунах з тягою 6000-8500 кг температура зовнішньої обойми підшипника турбіни досягає 125-150 °С. В основному ця температура

створюється за рахунок тепла, що підходить від крильчатки турбіни. Після зупинки двигуна, коли зменшується обдув повітрям, тепловий потік, що йде від крильчатки, викликає розігрів обойми до  $200^{\circ}\text{C}$ . У сучасних потужних реактивних двигунах температура підшипника турбіни при цьому досягає  $260^{\circ}\text{C}$ ; до цієї температури підшипник нагрівається через 30-40 хв після зупинки двигуна [2].

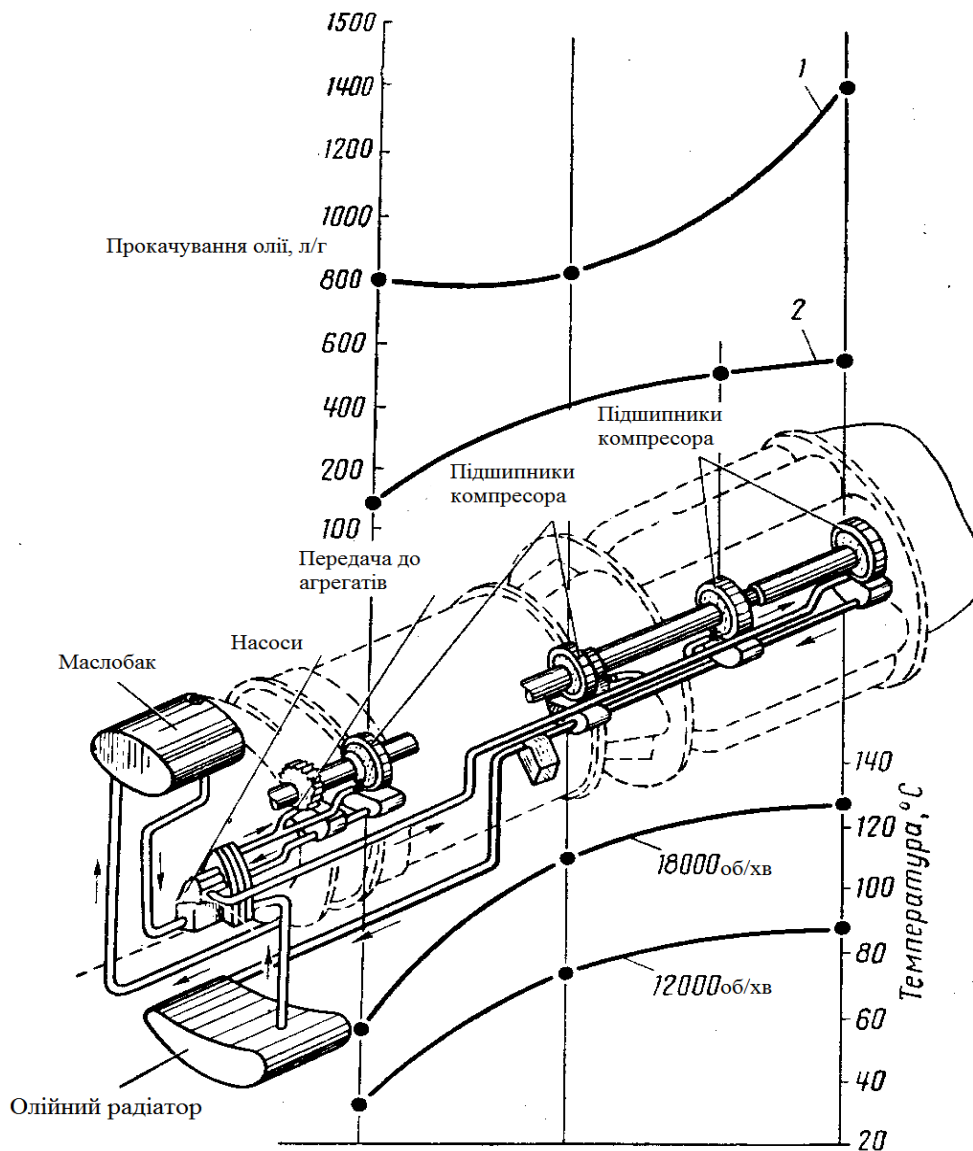


Рис. 1.1. Схема змащувальної системи газотурбінного реактивного двигуна та зміна температури у підшипниках ТРД:

1 – з осьовим компресором; 2 – з відцентровим компресором.

У ТРД для надзвукових літаків різко збільшується температура у вузлах тертя. Одночасно з цим, як видно з табл.1.1., підвищується температура оливи. У перспективних надзвукових ТРД температура у вузлах тертя може досягати 400 і навіть 540 ° С. Для роботи за таких температур рідкі мінеральні та синтетичні оливи непридатні. Необхідні нові змащувальні матеріали, здатні забезпечити змащення підшипників у цих умовах [2].

Таблиця 1.1

**Температура підшипників та оливи в ТРД**

Показники	Температура, ° С		
	Дозвуковий	Звуковий	Надзвуковий
Підшипники турбіни	175	175-300	300-400
Олива	90	90-150	150-200

Експлуатація дозвукових турбореактивних двигунів показала, що температура оливи в системі під впливом зовнішніх умов може знижуватися до -40 ° С і нижче.. Продуктивність маслососа залежить від температури, кількості його обертів та якості оливи [2].

## **1.2. Особливості оливи для турбореактивних двигунів**

Оливи для ТРД має такі особливості:

1. Олива в системі безпосередньо не стикається із зоною горіння паливо-повітряної суміші, як у поршневих двигунах. Стінки камери згорання ТРД не пов'язані із системою змащування. У цих двигунах відсутня витрата оливи на угар, тому вона не піддається глибокому розкладанню та вигорянню.

2. Незначна порівняно з поршневими двигунами витрата оливи, величина якої обумовлюється тільки втратами через суфлер.

Зважаючи на те, що в сучасних ТРД витрата оливи незначна (0,7-1,5 кг/год в маслосистему заливають її в невеликій кількості (5-12,5л ), і вона неодноразово проходить через вузли тертя двигуна. Так, при заправці оливою 12,5 л і прокачуваності 900 л/год на крейсерському режимі та 970 л/год на режимі максимальної потужності вона проходить через двигун близько 80-90 разів за 1 год.

3. В основних вузлах тертя встановлюються кулькові або роликові підшипники. Двигуни, на яких встановлені підшипники ковзання є рідкісним винятком. Отже, основним видом тертя в ТРД є тертя кочення, а не тертя ковзання, як у поршневому двигуні.

4. У вузлах тертя виникають навантаження, значно менші, ніж у поршневих двигунах. У реактивних двигунах відсутній масивний кривошипно-татунний механізм, який у поршневих двигунах створює великі інерційні зусилля і передає на підшипники величезні періодичні навантаження, що виникають в циліндрах в момент згоряння робочої суміші. Вал компресора та турбіни в ТРД добре врівноважений і обертається з рівномірною швидкістю. Внаслідок цього максимальне навантаження на підшипник становить близько 1300 кг; в поршневих двигунах навантаження на корінні підшипники колінчастого валу часто перевищує 10000 кг.

5. У вузлах тертя не розвивається великої кількості тепла. Умови роботи оливи у підшипниках ТРД різні. Термічно менш напружений передній підшипник компресора. Найбільша робоча температура відзначається для підшипника турбіни.

6. Загальна кількість вузлів тертя значно менша, ніж у поршневому двигуні. Відсутні такі складні за умов змащування вузла тертя поршневого двигуна, як поршнева група.

7. В умовах запуску для забезпечення нормального перебігу робочого процесу швидкість обертання валу турбокомпресора повинна досягати 1200-1500 об/хв. У поршневому двигуні для пуску достатньо розвинути швидкість

обертання колінчастого валу 40-60 об/хв. Тому дуже важливо, щоб оливи мали необхідну прокачуваність при негативних температурах [2].

## РОЗДІЛ 2

# ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ОЛИВ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ

### 2.1. Підготовка нафти до переробки. Зневоднення та знесолення нафти.

Сира нафта, може містити велику кількість води та розчинених в ній солей. Солі під дією гідролізу можуть утворювати продукти корозії для обладнання. Тому їх вміст у нафті, що переробляється, суворо обмежений (не вище 5 мг/л) [3].

Нафта і вода зазвичай утворюють емульсії. Ця властивість характерна для смолистих та сірчистих нафт. Існують два види нафтових емульсій:

Нафтові емульсії «вода в нафті» більш поширені в промисловій практиці. Основними факторами, що визначають стійкість нафтових емульсій - це фізико-хімічні властивості нафт, температура та термін існування емульсії, ступінь дисперсності (розмір краплинок води). Чим більша густина та в'язкість нафти, тим стійкіша емульсія. Однак із підвищенням температури стійкість емульсії знижується. Чим емульсія мілкодисперсніша, тим вона стійкіша [3].

Добре відомі три групи методів руйнування нафтових емульсій: механічні, хімічні та електричні. Всі вони засновані на злитті та укрупненні крапель води, що сприяє більш інтенсивному їх відстоюванню.

Відстоювання, фільтрування та центрифугування відносять до механічних способів руйнування нафтових емульсій.

Відстоювання ефективно тільки для свіжих нестійких емульсій, які можуть розшаруватись на нафту та воду внаслідок різниці їх густин.

Фільтрування базується на вибіркового змочуванні твердих речовин різними рідинами. Цей спосіб передбачає застосування фільтрувальних колон, заповнених скловатою. Дрібні частинки води, прилипаючи до поверхні

скловати, об'єднуються в крупні краплі та легко стікають вниз. Спосіб досить ефективний і застосовується тоді, коли емульсія вже зруйнована, але краплі води ще не осідають. Недоліком даного способу є відносно швидке забруднення фільтруючої поверхні механічними домішками і потребує частої заміни [3].

Центрифугування - це процес зневоднення з нафтової емульсії під дією відцентрової сили. Цей метод у промисловій практиці майже не застосовується через малу пропускну здатність центрифуг та високі експлуатаційні затрати.

Хімічні методи руйнування нафтових емульсій засновані на застосуванні деемульгаторів - поверхнево-активних речовин, що руйнують емульсії.

Деемульгатори повинні ефективно руйнувати нафтові емульсії, витрачатися у невеликих кількостях, бути недефіцитними, не кородувати апаратуру, не змінювати властивостей нафти, бути нешкідливими та легко видалятися із стічних вод. За характером дії на нафтові емульсії деемульгатори поділяють на електроліти, неелектроліти та колоїди [3-4].

Найвідомішими серед вітчизняних деемульгаторів є репон, проксамін, СНПХ, ПМ; серед зарубіжних - прогаліт, третоляйт, диссольван, петроляйт тощо [11].

Метод електричного руйнування нафтових емульсій базуються на використанні електричного поля для зневоднення нафт. Сьогодні це найпоширеніший метод зневоднення. Коли нафтова емульсія попадає в змінне електричне поле негативно заряджені частинки води починають рухатися всередині краплі надаючи їй грушоподібної форми, гострий кінець якої направлений до позитивно зарядженого електрода. При зміні полярності конфігурація краплі змінюється, котра витягується гострим кінцем в інший бік. При цьому окремі краплі стикаються, зливаються у більші краплі та осідають. Зневоднена нафта виводиться зверху електродегідратора.

Зневоднення та знесолення нафти проводять на спеціальних установках. Найчастіше у промисловості використовується комбінований метод зневоднення та знесолення нафти. Він по'єднує термохімічне відстоювання та

обробку емульсії в електричному полі. Такий тип установки називається електрозневоднювальним та знесолювальним. (ЕЛЗУ) [5].

Очищення нафти в двоступінчастих ЕЛЗУ здійснюється наступним чином (див. рис.2.1.). На 1-му ступені сира нафта подається насосом 13 через теплообмінник 10, де вона нагрівається, в змішувач 8, в якому змішується з промивної водою і деемульгатором; в електродегідраторі 1 утворюється водно-нафтова емульсія, яка розділяється на дві фази. Зневоднена і частково знесолена нафта надходить на 2-гу ступінь, спочатку в змішувач 8', а потім у вигляді емульсії з водою – на кінцеве очищення в електродегідраторі 1; зневоднена і знесолена нафта направляється на дистиляційну установку. Прісна вода промивним насосом 15 подається в теплообмінник 10', підігрівається до 60-70 ° С і змішується з нафтою перед змішувачем 8'.

Дренажна вода, яка була відстояна в електродегідраторі 1' за допомогою клапана 9' надходить у ємність 12, звідки насосом 14' направляється для змішування з нафтою перед 1-м і частково перед 2-м ступенями. Дренажна вода, відстояна в електродегідраторі 1, через клапан 9 подається в відстійник 11, з якого після відстоювання і відділення від емульгатора вода частково відводиться в каналізацію, а частково використовується для промивання нафти в 1-му ступені. Нафта, відстояна в ємності 11, змішується з сирою нафтою на прийомі сировинного насоса 13. У схемі передбачено дві можливі точки введення промивної води в нафту перед 1-м ступенем: на всмоктуванні насоса 13 і після насоса 10 перед змішувачем 8.



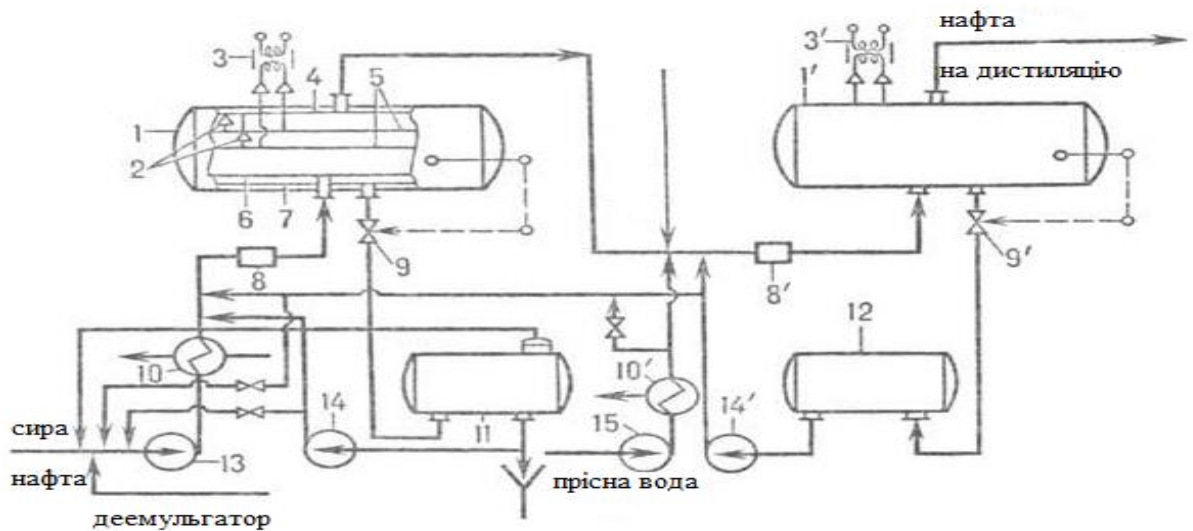


Рис.2.1. Принципова схема електрознесолюючої установки (позиції з штрихом - обладнання 2-го ступеня): 1, 1'-електродегідратори; 2-підвісні ізолятори, 3, 3'-високовольтні трансформатори, 4, 7-колектори знесоленої нафти і дренажної води; 5-електроди ; 6 – розподілювачі геля для введення сировини; 8, 8'-змішувачі; 9, 9'-клапани автоматичного відводу дренажної води; 10, 10'-теплообмінники, 11, 12-відстійник і проміжна ємність дренажної води; 13, 15-насоси сировини і прісної води; 14, 14'-насоси дренажної води.

Деемульгатори, що використовуються на ЕЛЗУ (наприклад блоксополімерпропілен і етиленоксид з пропіленгліколем) додають в нафту у вигляді 1-2%-вих водних розчинів перед 1-м ступенем. При знесоленні ряду нафт поряд з деемульгатором використовують луг в кількості, необхідній до доведення рН дренажної води до 7. Глибоке знесолення нафти забезпечується додаванням в кожному ступені 4-10% за об'ємом промивної води. На ЕЛЗУ скорочення витрат прісної води досягають її подачею тільки на останню ступінь і повторним використанням відстояної води. Повнота вимивання солей з нафти частково залежить від ступеня її змішання з промивною водою і деемульгатора [5].

## 2.2. Ректифікаційний процес перегонки нафти.

Після зневоднення і знесолення нафту ректифікують. Ректифікація – це процес дифузії який поділяє рідкі суміші на окремі компоненти або фракції з різними температурами кипіння, в результаті чого пари збагачуються низькокиплячим компонентом, а рідина – високо киплячим компонентом [6, 7].

Для нормальної роботи колони необхідно забезпечити наступні умови:

- наявність на кожній тарілці двох потоків: пари та рідини;
- температура пари повинна бути більша від температури рідини;
- забезпечення найбільшої поверхні контакту між парами та рідиною.
- спад температури знизу уверх.

Основними факторами, що впливають на процес ректифікації, є тиск і температурний режим, які взаємопов'язані.

Негативно впливає тиск на процес ректифікації, але головною метою підвищення тиску в колоні є підвищення температури кипіння ректифікату до такої температури, при якій можна сконденсувати пари ректифікату за допомогою дешевих холодоносіїв (води або повітря).

Зі збільшенням тиску збільшується товщина стінки колони, що також приводить до збільшення вартості колони. При збільшенні тиску в колоні коефіцієнт летючості зменшується, що призводить до необхідності збільшення числа тарілок або зрошення, що приводить до збільшення витрати металу на виготовлення колони та енергетичних витрат на перекачування зрошення [7].

Оптимальною повинна бути температура входу сировини та виходу продуктів. Збільшення температури входу сировини вище оптимальної буде впливати на якість парів скраплених газів. За рахунок зміни подачі гострого холодного зрошення, температура верху колони підтримується сталою, а низу колони – за рахунок створення гарячої струмини.

Сировина в колону подається кількома потоками на певні тарілки. Та чи інша тарілка підбирається експериментально і вона залежить від складу сировини. Чим більше важких вуглеводнів в сировині, тим на нижчу тарілку подається сировина, і навпаки, сировина з високим вмістом легких вуглеводнів подається на вищу тарілку. Між двома сусідніми вводами сировини розміщується від 3-6 тарілок [7, 16].

### **2.3. Блок атмосферно-вакуумної трубчатки.**

Проста перегонка проводиться одноразовим, багаторазовим або поступовим випаровуванням.

При одноразовій перегонці рідина (нафта) нагрівається до заданої рівноважної температури; пара, що утворилася та досягла рівноваги, одноразово відокремлюється від рідкої фази — залишку. Цей метод забезпечує більшу частку перегонки при тій же температурі та тиску, ніж перегонка з поступовим випаровуванням. Ця важлива перевага використовується в практиці перегонки нафти для досягнення максимального відбору парів при обмеженій температурі нагрівання, щоб уникнути крекінгу нафти.

Перегонка з багаторазовим випаровуванням полягає в послідовному повторенні процесу одноразової перегонки при більш високих температурах або низьких тисках стосовно залишку попереднього процесу [6, 7].

Поступове нагрівання нафти від початкової температури до кінцевої температури з безперервним відведенням і конденсацією парів, що утворюються називається перегонкою з поступовим випаровуванням. Цей спосіб перегонки нафти та нафтопродуктів в основному використовується у лабораторній практиці для визначення їх фракційного складу.

У процесах складної перегонки існує різниця між перегонкою з дефлегмацією та перегонкою з ректифікацією.

При перегонці з дефлегмацією пари, що утворюються, конденсують і частину конденсату у вигляді флегми подають назустріч потоку пари. У

результаті одноразового контактування парового та рідинного потоків пари, які відводяться з системи, додатково збагачуються низькокиплячими компонентами, що трохи покращує чіткість розділення сумішей.

Перегонка з ректифікацією — найпоширеніший процес масообміну у хімічній і нафтогазовій технології, який здійснюється у ректифікаційних колонах шляхом багаторазового протитечійного контактування парів і рідини. На кожному контактному ступені (тарілці або шарі насадки) пари і рідини, що взаємодіють, відбувається тепло- і масообмін до рівноважного стану, викликаного прагненням системи. У результаті кожного контакту компоненти перерозподіляються між фазами: пара трішки збагачується низькокиплячими, а рідина — висококиплячими компонентами. Підбираючи число ступенів контакту і параметри процесу (температурний режим, тиск, співвідношення потоків, флегмове число), можна забезпечити будь-яку необхідну чіткість фракціонування нафтових сумішей [6, 7].

Нафта та нафтові суміші, що є вихідною сировиною для ректифікації, мають ряд специфічних властивостей, що визначають деякі особливості технології їх переробки.

Нафта і особливо її висококиплячі фракції та залишки характеризуються невисокою термічною стабільністю. Термічної стабільності нафти у більшості випадків відповідає температурній межі розділення приблизно між мазутом за кривою ІТК і дизельним паливом, тобто близько . Нагрівання нафти до високих температур (понад 350-360 °С) супроводжуватиме її деструкцією та погіршенням якості продукту, що переганяється. З урахуванням цього факту перегонку нафти і її важких фракцій проводять з обмеженням за температурою нагрівання. В умовах такого обмеження для виділення додаткових фракцій нафти, які википають вище гранично припустимої температури нагрівання сировини, можна використовувати практично єдиний спосіб підвищення відносної леткості компонентів—перегонку під вакуумом. Так, перегонка мазуту при залишкових тисках у зоні живлення вакуумної колони близько 100 та 20 мм рт. ст. (133 і 30 гПа) дозволяє відібрати газойлеві (масляні) фракції з

температурою кінця кипіння відповідно до 500 і 600 °С . Тобто, для підвищення чіткості розділення при вакуумній (а також і атмосферній) перегонці використовують подачу водяної пари для відпарювання легкіших фракцій. Отже, з точки зору термічної нестабільності нафти технологія її глибокої перегонки (тобто з відбиранням фракцій до гудрону) повинна мати щонайменше дві стадії: атмосферну перегонку до мазуту з відбиранням паливних фракцій та перегонку під вакуумом мазуту з відбиранням газойлевих (масляних) фракцій і в залишку гудрону [7].

Нафта являє собою багатокомпонентну сировину з безперервним характером розподілу фракційного складу і відповідно леткості компонентів. Розрахунки показують, що значення коефіцієнта відносної леткості безупинно спадає у міру обважнення фракцій нафти, а також у міру звуження температурного інтервалу кипіння фракцій. Ця властивість нафтової сировини обумовлює деякі обмеження як стосовно «вузькості» фракцій, так і на чіткість погоноподілу, особливо відносно висококиплячих фракцій. З економічної точки зору недоцільно вимагати, щоб процес перегонки виділяв, наприклад, так звані чисті вуглеводні або надвузькі дистиляти. Тому в нафтопереробці задовольняються одержанням таких газойлевих та паливних фракцій, що википають у широкому інтервалі температур: бензинові (п.к.-180 °С), гасові (140 -240 °С), дизельні (240-350 °С), вакуумний дистилят (вакуумний газойль) (350-400 °С, 400-450 °С та 450-500 °С) та гудрон (вище 500 °С). Інколи обмежуються неглибокою атмосферною перегонкою нафти з одержанням у залишку мазуту вище 350 °С, який застосовується в якості котельного палива [8].

Залишкова і висококипляча фракції нафти містять значну кількість гетероорганічних смоляно-асфальтенових сполук і металів, і потрапляння в дистилят під час перегонки може значно знизити його експлуатаційні характеристики та ускладнити подальшу переробку. Ця ситуація вимагає чіткої сепарації фаз у ділянці живлення атмосферної колони, особливо у вакуумній колоні. Ефективна сепарація фаз у живильній секції колони

досягається встановленням спеціальних сепараторів (відбійних тарілок, насадок і т.д.), які вловлюють дрібні краплі (туман, піна, бризки) кубової рідини, а також промиванням парового потоку стікаючою рідиною в спеціальній промивній тарілці. Коефіцієнт одноразової випарної перегонки в живильній секції колони має бути на 2-5% вище за вихід продукту обраного вигляду дистиляту [7, 8].

Установки технології перегонки нафти призначені для поділу нафти на фракції та подальшої їх переробки або використання як компонентів товарних нафтопродуктів. Вони є основою всіх НПЗ. На них виробляють майже всі компоненти моторних палив, олив, сировина для нафтохімічних виробництв і для вторинних процесів. Від їх роботи залежать асортимент і якість отриманих компонентів та техніко-економічні показники подальших процесів переробки нафтової сировини. Процеси перегонки нафти здійснюють на так званих атмосферних трубчастих (АТ) і вакуумних трубчастих (ВТ) або атмосферно-вакуумних трубчастих (АВТ) установках [16].

За напрямком використання фракції установки для перегонки нафти прийнято називати паливними, масляними або паливно-масляними.

На установках АТ нафту піддають неглибокій перегонці з отриманням паливних (бензинових, газових, дизельних) фракцій і мазуту. Установки ВТ призначені для перегонки мазуту. Як вихідну сировину використовують газойлеві, масляні фракції та гудрон, які при подальшій (вторинній) переробці одержують для отримання палив, олив, коксу, бітумів та інших нафтопродуктів [6, 7].

Потужність вітчизняних установок перегонки нафти коливається від 0,5-8 млн т/рік нафти. Переваги установок великої одиничної потужності очевидні: вища продуктивність і менші капітальні та експлуатаційні витрати. Комбінуючи АТ і АВТ (або ЕЛЗУ-АТ і ЕЛЗУ-АВТ) з іншими технологічними процесами, такими як гідроочищення паливних і газойлевих фракцій, каталітичний риформінг, каталітичний крекінг, очищення масляних фракцій можна досягти більш значних результатів. [11, 17].

При виборі технологічної схеми та режиму атмосферної перегонки нафти в основному керуються складом фракцій з переважним вмістом газової та бензинової фракцій [9, 10].

Найбільш енергоефективна перегонка стабілізованої нафти постійного складу з низьким вмістом розчинених газів (до 1,2% вмісту  $C_4$ ), відносно низьким вмістом бензину (12-15%) і виходом до 350°C фракцій не більше 45%) на установках АТ за схемою з одноразовим випаровуванням, тобто з однією складною ректифікаційною колоною з бічними відпарними секціями. Установки такого типу широко застосовуються на закордонних НПЗ. Вони прості та компактні, характеризуються низькими витратами енергії та металу за рахунок спільного випаровування легкої та важкої фракцій, що вимагає найнижчої температури нагріву олії для забезпечення перегонки даної фракції. Головним їх недоліком є менша технологічна гнучкість і знижений (на 2,5-3,0%) відбір світлих нафтопродуктів, крім того, у порівнянні з двоколонною схемою, вони потребують більш якісної підготовки нафти.

Для перегонки легких груп нафти з високим вмістом розчинених газів (1,5-2,2%), бензинових фракцій (до 20-30%) і фракцій до 350 °C (50-60%) рекомендується атмосфера перегонка дворазового випаровування, тобто установки з попередньою відбензинувальною колоною та складною ректифікаційною колоною з бічними відпарними секціями для розділення частково відбензиненої нафти на паливні фракції і мазут [9, 10].

У вітчизняній нафтопереробці найбільш поширені двоколонні атмосферні перегонні установки. Вони мають достатню технологічну гнучкість, універсальність і здатність переробляти нафти різного фракційного складу, тому що перша колона, у якій відбирається 50-60% бензину від потенціалу, виконує функції стабілізатора, згладжує у фракційному складі нафти і забезпечує стабільну роботу основної ректифікаційної колони. Використання відбензинувальної колони дозволяє знизити тиск на насосі подачі сировини, частково запобігти корозії складної колони, розвантажити

піч від легких фракцій, одночасно дещо зменшити необхідну її теплову потужність.

Більш висока температура нагрівання відбензиненої нафти, необхідність підтримки температури низу першої колони гарячим струменем, на що потрібні витрати додаткової енергії є недоліками двоколонної АТ. Крім того, установка обладнана додатковою апаратурою: насосами, колоною, конденсаторами-холодильниками і т.д [8].

Блок атмосферної перегонки нафти високопродуктивної установки ЕЛЗУ-АВТ функціонує за схемою двократного випаровування та двократної ректифікації (рис.2.2.).

Зневоднена та знесолена на ЕЛЗУ нафта додатково підігривається в теплообмінниках і надходить на розділення у колону часткового відбензинювання *К-1*.

Вуглеводневі гази та легкий бензин з верхньої частини колони, конденсуються та охолоджуються в апаратах повітряного і водяного охолодження та надходять у ємність зрошення. На верх колони *1* повертається

частина конденсату як гостре зрошення. В трубчасту піч *П-1* подається відбензинена нафта з низу колони *К-1*, де нагрівається до необхідної температури і надходить в атмосферну колону *К-2*. До низу колони *К-1* гарячим струменем повертається частина відбензиненої нафти з печі *П-1*. Важкий бензин відбирається з верху колони *К-2*, а збоку через відпарні колони *К-3* виводяться паливні фракції 180-220(230), 220(230)-280 і 280-350 °С. Атмосферна колона, має два циркуляційних зрошення, крім гострого зрошення, якими відводиться тепло нижче тарілок відбирання фракцій 180-220 і 220-280 °С.

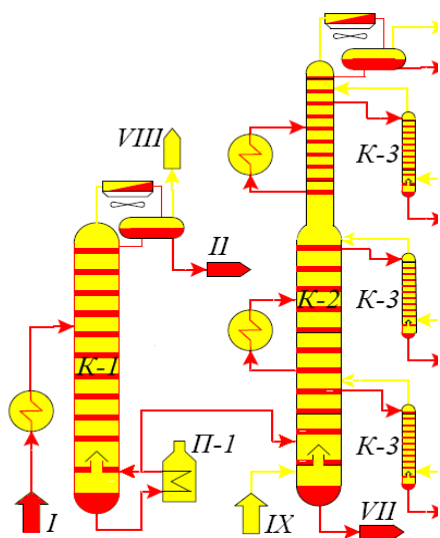


Рис. 2.2. Принципова схема блоку атмосферної перегонки нафти установки ЕЛЗУ-АВТ:

*I* - нафта з ЕЛЗУ; *II* - легкий бензин; *III* - важкий бензин; *IV* - фракція 180-220 °С; *V* - фракція 220-280 °С; *VI* - фракція 280-350 °С; *VII* - мазут; *VIII* - газ; *IX* - водяна пара

Перегрита водяна пара направляється в нижню



частину атмосферної та відпарної колони для випаровування низькокиплячої фракції. Мазут виводиться з нижньої частини атмосферної колони і направляється в установку вакуумної перегонки. Матеріальний баланс, технологічний режим і характеристика ректифікаційних колон блоку атмосферної перегонки нафти (залежно від типу нафти, що переганяється, і структури випуску товарних нафтопродуктів на різних НПЗ одержують фракції, що дещо відрізняються за температурними межами википання) наведені у довідниках.

Практика експлуатації АТ і АВТ на промислових підприємствах виявила такі недоліки цієї схеми:

- використання гарячих струменів через піч для регулювання температури в нижній частині колони *K-1* вимагає збільшення енерговитрат на циркуляцію відбензиненої нафти;
- не забезпечуються проектні показники за температурою підігрівання нафти на вході в колону *K-1*, тим самим і за відбиранням легкого бензину в ній [9, 17].

Для покращення роботи колони *K-1* на кількох нафтопереробних заводах підключили теплообмінники для сировини та теплоносії для підвищення температури нагріву нафти на вході в колону.

### 2.3.2. Блок вакуумної перегонки мазуту установки АВТ.

Основним призначенням установки (блоку) вакуумної перегонки мазуту є отримання вакуумного газойлю широкого фракційного складу (350-500 °С), для використання в якості сировини для виробництва олив та установок каталітичного крекінгу, гідрокрекінгу або піролізу та у деяких випадках – термічного крекінгу з одержанням дистилятного крекінг-залишку, який надалі направляється на коксування для отримання високоякісного нафтового коксу. [12, 13].

За фракційним складом та кольором вакуумного газойлю роблять висновок про чіткість розділення мазуту. Останній показник опосередковано характеризує вміст смолисто-асфальтенових речовин, тобто коксивність та

вміст металів. Метали, особливо ванадій і нікель, можуть впливати на активність, селективність і термін служби каталізаторів процесів гідрооблагороджування та каталітичної переробки газойлей. Тому під час роботи промислової установки ВТ надзвичайно важливо зменшити передачу рідини (гудрону) у вигляді бризок, піни та туману до концентраційної секції вакуумної колони. Тому вакуумна колонка з паливним варіантом має невелику потужність для тарілок (або невисокому шарі насадки) для прояву секції живлення: відбійники з сітки і промивні тарілки для рециркуляції продукту темного продукту. Щоб запобігти потраплянню металоорганічних сполук у вакуумний газойль, іноді до сировини додають невелику кількість антипінну присадку силоксанового типу [17, 18].

Крім проблеми видалення рідини, велику увагу приділено забезпеченню сприятливих умов для максимального відбору цільових продуктів без значного розкладання під час вакуумної перегонки. Багаторічний досвід роботи на промислових установках ВТ показав, що нагрівання пічного мазуту вище 420-425°C призводить до інтенсивного розкладання газу, закоксування та горіння печі, а також вакуумного обсмолення газойлю. При цьому, чим важче нафта, тим інтенсивніше газоутворення та термічне руйнування високомолекулярних сполук вихідної сировини. В результаті чого під час нагрівання мазуту до максимально припустимої температури зменшують час його перебування в печі, влаштовуючи багатопоточні змійовики (до чотирьох), застосовують двостороннє опромінення в печі, у змійовик печі подають водяна пару і зменшують довжину трансферного трубопроводу (між піччю та вакуумною колоною). Щоб знизити температуру в нижній частині колони, організують рецикл (квенчинг) частково охолодженого гудрону. Для зниження тиску в випарній частині печі кінцеві змійовики виготовляють з труб більшого діаметру, щоб зменшити перепад висот між мазутом, що надходить у колону та виходить з печі. У вакуумних колонках використовується обмежена кількість пластин або насадок з низьким гідравлічним опором, використовуючи вакуумну систему, яка забезпечує досить глибокий вакуум.

Кількість тарілок у секції перегонки також має бути обмежена, щоб забезпечити короткий час перебування підігрітого гудрону. З цією метою одночасно зменшують діаметр куба колон [12, 13].

У разі вакуумної перегонки мазуту за варіантом палива переважно використовувати єдину схему випарювання, використовуючи для видалення фракції дистилляту складну ректифікаційну колону з відпарювачем або без нього. Багаторазові цикли зрошення були організовані за допомогою відпарювальних колон на висоті основної вакуумної колони [14].

Принципова схема блоку вакуумної перегонки мазуту установки ЕЛЗУ-АВТ-6 наведена на рис.2.3.

Мазут, який відбирається з низу атмосферної колони блоку АТ, прокачується паралельними потоками через піч П-1 у вакуумну колону К-1. Суміш нафти і водяної пари, розкладеного газу з верхньої частини вакуумної колони надходить у систему для створення вакууму. Після конденсації та охолодження в конденсаторі-холодильнику його поділяють на газову фазу та рідку фазу в газосепараторі. Газ відкачується триступеневим пароежекторним вакуумним насосом, а конденсати надходять у відстійник для відділення нафти від конденсованої води. Відбирають фракцію легкого вакуумного газойлю (соляр) верхнім бічним погоном вакуумної колони. Частина, охолоджена в теплообміннику, повертається на верхню колону як верхня циркуляція зрошення. Другим бічним погоном відбирають широку газойлеву (масляну) фракцію. Охолоджену частину використовують як середньоциркуляційне зрошення вакуумної колонки. Залишок цільового продукту вакуумного газойлю після проходження через теплообмінник і холодильник виймається з пристрою і направляється на подальшу переробку. Темну фракцію виймають з нижньої тарілки концентраційної частини колони, одну частину використовують як нижнє циркуляційне зрошення, а другу частину можна витягти з пристрою або використовувати як рецикл разом із завантаженням вакуумної печі. Гудрон відбирається з дна вакуумної колони, охолоджується і відправляється на подальшу переробку. Частина гудрону

після охолодження в теплообміннику повертається в низ колони. У низ

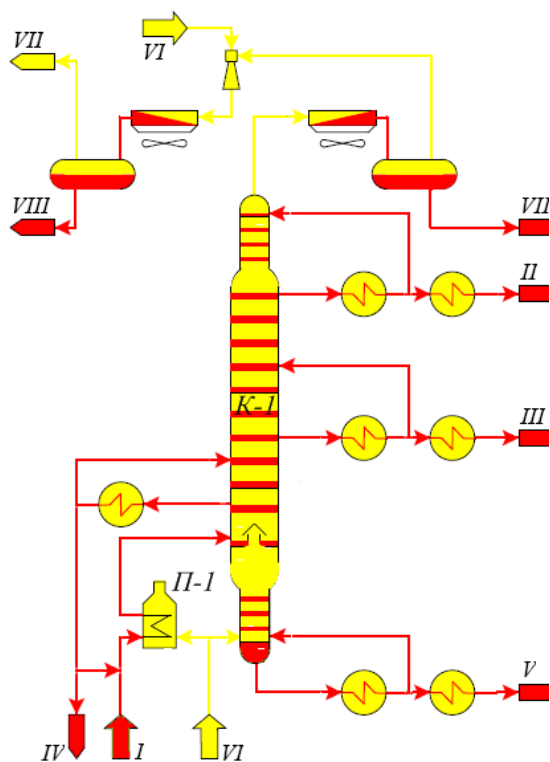


Рис. 2.3. Принципова схема блоку вакуумної перегонки мазуту установки ЕЛЗУ-АВТ:

*I* - мазут з АТ; *II* - легкий вакуумний газойль; *III* - вакуумний газойль; *IV* - затемнена фракція; *V* - гудрон; *VI* - водяна пара; *VII* - гази розкладання; *VIII* - конденсат (вода або нафтопродукт)

вакуумної колони та змійовик печі подається водяна пара [14].

Технологія вакуумної перегонки мазуту має такі характеристики. Основною метою процесу вакуумної перегонки (ВТМ) мазуту є отримання вузької нафтової фракції заданої в'язкості, яку отримують із небажаних компонентів (смола, асфальтенів, поліциклічних ароматичних вуглеводнів) шляхом подальшого багатостадійного очищення.

Більшість показників якості товарної оливи (в'язкість, індекс в'язкості, осаджуваність, температура спалаху та ін.), а також техніко-економічні показники процесу переробки нафти значною мірою залежать від якості вихідної нафти та її масляних фракцій.

Тому в процесах ВТМ, у порівнянні з вакуумною перегонкою паливного профілю, ставляться більш суттєві вимоги до чіткості погонорозділення та вибору сировини. Для отримання високоякісної оливи з цієї нафти рекомендується отримувати вузькі 50-градусові фракції олив (350-400; 400-450 і 450-500°C) з мінімальним перекриттям температур кипіння між суміжними дистилятами (не більше 30-). 60°C). Для забезпечення необхідної чіткості погоноподілу на ректифікаційних колонах ВТМ встановлюють більше число тарілок (до 8 на кожний дистилят), застосовують відпарні секції; поряд з одноколонними широко застосовують двоколонні схеми (двократного випаровування за дистилятом) перегонки (рис.2.4 а, б) [14].

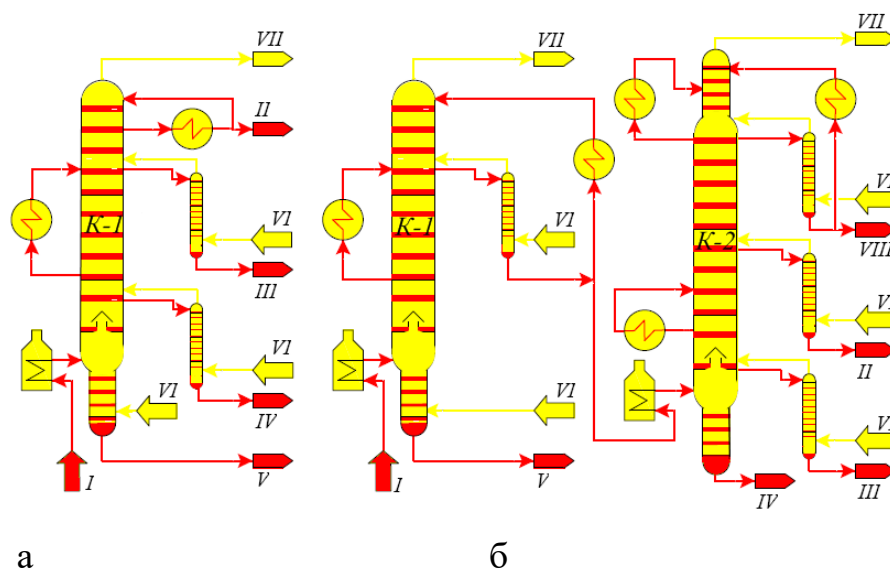


Рис. 2.4. Схеми одноколонної (а) і двоколонної (б) перегонки мазуту за масляним варіантом: *I* - мазут; *II*, *III* і *IV* - відповідно малов'язкий, середньов'язкий і високов'язкий дистиляти; *V* - гудрон; *VI* - водяна пара; *VII* - неконденсовані гази і водяна пара; *VIII* - легкий вакуумний газойль

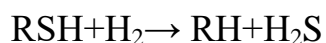
Слід зазначити, що одноколонний ВТМ дорожчий за двоколонний ВТМ за експлуатаційними та капітальними витратами, але поступається за чіткістю погоноподілу (температура кипіння і тиск між суміжними дистилятами досягають 70-130°C). У той же час через зменшення глибини вакууму в живильній секції колони точність перегонки неможливо підвищити збільшенням кількості тарілок.

Під час роботи установки ВТМ за схемою, наведеною на рисунку 2.4 а, тиск у секції живлення колони підтримується на рівні близько 13-33 кПа і не вище 420°C при тиску вище 6-10 кПа і температурі нагріву палива. У низ колони подається 5-10% водяної пари (на гудрон). Під час роботи ВТМ за схемою, наведеною на рисунку 2.4 б, не потрібно мати глибокий вакуум в другій колоні, а більший ефект розділення досягається збільшенням загальної кількості тарілок. Температура нагріву мазуту на вході в першу колону становить 400-420°C, а широка масляна фракція в другому ступені вакуумної перегонки 350-360°C [14,17,18].

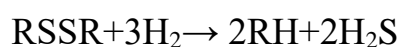
## 2.4. Гідроочистка в процесах виробництва олив.

Хімічні перетворення при гідроочищенні

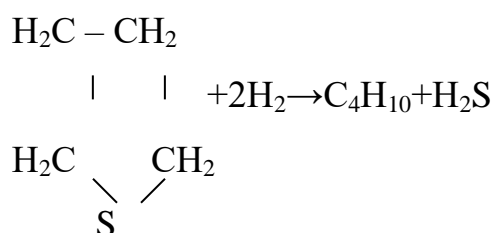
1. Перетворення сірковмісних сполук (меркаптани, сульфіді, дисульфіді, тіофени, тіофани):



Гідрування дисульфідів відбувається до утворення сірководню та відповідних вуглеводнів через стадію утворення меркаптанів.



У випадку циклічних сульфідів (тіофанів) спочатку розривається цикл, а потім відновлюється  $\text{H}_2\text{S}$  і утворюється відповідний вуглеводень.



Ненасичені S- вмісні циклічні сполуки (тіофен та його похідні) гідруються, а потім вступають в реакції, характерні похідним тіофану.

Із сірковмісних сполук найлегше гідруються меркаптани, важче – сульфіді та дисульфіді. Циклічні сірковмісні сполуки гідруються дуже важко, тільки в процесі глибокого гідроочищення [20, 21].

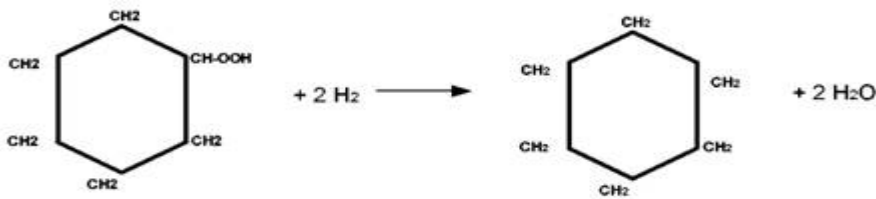
2. Перетворення азотовмісних сполук відбувається за схемою, подібною до сірковмісних, проте гідрогенізація зв'язку C-N проходить значно важче ніж C-S, тому в процесі гідроочищення  $\text{N}_2$  видалити значно важче, ніж S.



В присутності сучасних каталізаторів гідроочищення відбувається практично повне виділення N-вмісних сполук.

### 3. Перетворення кисневмісних сполук.

В нафтових дистилятах кисень представлений спиртами, ефірами, фенолами і нафтоновими кислотами. У висококиплячих фракціях кисень присутній у вигляді циклічних сполук. Найбільша кількість кисню концентрується в смолах та асфальтенах. Отже, при гідруванні кисневмісних сполук утворюються відповідні вуглеводні та  $H_2O$ . Смоли та асфальтени перетворюються в більш низько киплячі сполуки. В присутності звичайних каталізаторів кисневмісні сполуки виділяються повністю.



### 4. Перетворення інших класів речовин.

Металорганічні сполуки у нафтових фракціях розкладаються з виділенням вільного  $Me$ , що є каталітичною отрутою в умовах гідроочищення. В процесі гідроочищення видаляється більша частина  $Me$  - органічних сполук. При гідроочищенні вуглеводнів з кратними зв'язками відбувається реакція гідрокрекінгу, яка небажана, оскільки знижує вихід цільового продукту. Можливе незначне коксоутворення на поверхні каталізатора. Ці зазначені реакції є небажаними. Використовують каталізатори, що стійкі до отруєння  $S$ -вмісними сполуками. Це оксиди та сульфідні  $Me$  змінної валентності ( $Co$ ,  $Ni$ ,  $Mo$ ,  $W$ ), нанесені на оксид алюмінію. Алюмінієвокобальтмолібденові каталізатори використовуються в більшості сучасних процесів гідрообробки.

Далі за обраною мною схемою масляні фракції і залишок вакуумної перегонки надходить на процес гідроочистки. Одночасно зменшується їх коксування і вміст сірки, індекс в'язкості зазвичай збільшується незначно (збільшується на 1-2 одиниці), температура застигання олів може бути підвищена на  $1-3^\circ C$ . Вихід гідродоочищених олів перевищує, як правило, 97% (мас). При розглянутому неглибокому процесі утворюється незначна кількість побічних продуктів: вуглеводневих газів, сірководню, відгону. Витрата водню,

що використовується для реакції, розчиненого в гідрогенізі і віддуд становить 0,2-0,4% (мас.) від вихідної сировини. Витрата технічного водню, що надходить з установки каталітичного риформінгу і містить баластні гази, вище (від 0,6 до 1,4% мас, на сировину).

Бензинові, гасові і дизельні фракції, вакуумний газойль і змащувальні оливи, що містять сірку, азот і ненасичені вуглеводні є сировиною процесів гідрооблагороджування. Вміст гетероатомних вуглеводнів у вихідній сировині коливається в широких межах залежно від фракції та хімічного складу дистилатів. У міру обважнення сировини збільшується не тільки загальний вміст, але і частка найбільш термостабільних в відношенні гідрогенізу гетероорганічних сполук [19].

Температура, об'ємна швидкість сировини та тиск впливають на швидкість і глибину гідрогенізу гетеродомішок в газофазних процесах гідроочищення паливних фракцій у повному співвідношенні з хімічною кінетикою. Стосовно дизельних палив глибина знесірчення 90 – 93 % досягається при об'ємній швидкості 4 ч<sup>-1</sup>, тиску 4 МПа і температурі 350-380°C. При температурі понад 420 °C через більш високе прискорення реакцій гідрокрекінгу зростає вихід газів і легких вуглеводнів, збільшуються коксоутворення і витрата водню.

Для кожного типу сировини та каталізатора існує оптимальний діапазон параметрів режиму. Сировина, що википає при температурі вище 350 °C, знаходиться при гідрообезсірчуванні в основному в рідкій фазі, і підвищення тиску збільшує швидкість реакцій більш значно, прискорюючи транспортування водню через плівку рідини до поверхні каталізатора. Через подорожчання обладнання збільшення тиску обмежують в межах до 7 - 8 МПа.

Парціальний тиск водню і швидкість циркуляції водневмісного газу. Зі збільшенням загального тиску процесу зростає парціальний тиск водню. На цей параметр впливає різноманітність циклу ВВГ і концентрація водню в ньому, яка в промислових умовах коливається від 60 до 90% об. Чим вище концентрація водню у ВВГ, тим менша кратність циклу.



Кратність циркуляції ВВГ, залежно від якості сировини змінюється в межах від 150 до 1000 м<sup>3</sup> / м<sup>3</sup>.

Хоча реакція гідрогенолізу гетероорганічних сполук є екзотермічною, процес гідроочистки паливних фракцій зазвичай проводять в адіабатичних реакторах без відведення тепла реакцій, оскільки градієнт температури зазвичай не перевищує 10 °С [19].

#### 2.4.1. Каталізатори гідроочистки

Компоненти каталізатора, що використовуються в промислових процесах гідрогенізації, є складними і зазвичай включають такі компоненти:

- 1) метали VIII групи: Ni, Co, Pt, Pd, іноді Fe;
- 2) окисли або сульфіді VI групи: Mo, W, іноді Cr;
- 3) термостійкі носії з розвиненою питомою поверхнею і високою механічною міцністю, інертні чи володіють кислотними властивостями.

Нікель, кобальт, паладій або платина надають каталізаторам гідруючо-дегідруючих властивостей, але не володіють стійкістю по відношенню до отруєної дії контактних отрут і не можуть бути використані окремо в гідрогенізаційних процесах.

Молібден, вольфрам і їх оксиди є n-напівпровідниками (як і Ni, Co, Pt і Pd). Їх каталітична активність пов'язана з окислювально-відновними реакціями через наявність на їх поверхні вільних електронів, які сприяють адсорбції, хемосорбції та гемолітичному розпаду органічних молекул.

Однак Mo і W значно поступаються за дегідро-гідруючим активностям Ni, Co і особливо Pt і Pd.

Сульфіді ж Mo і W є p-напівпровідниками. Поєднання Ni або Zr з Mo або W надає їх сумішей та сплавів біфункціональні властивості. Використання носіїв дозволяє знизити вміст активних компонентів у каталізаторі, що особливо важливо у випадку з дорогими металами. Залежно від типу реактора нанесені каталізатори виготовляють у вигляді таблеток, кульок або мікросфер.

Носії з кислотними властивостями, такі як синтетичні аморфні та кристалічні алюмосилікати та цеоліти, силікати магнію та цирконію, фосфати,

надають каталізатору додаткові властивості ізомеризації та крекінгу. Каталізатори на таких носіях, що містять метали VI і VIII груп, є по суті поліфункціональними.

У світовій практиці найбільше поширення в гідрогенізаційних процесах отримали алюмокобальтмолібденові (АКМ), алюмонікельмолібденові (АНМ) і змішані алюмонікелькобальтмолібденові (АНКМ), а також алюмонікельмолібденсилікатні (АНМС) каталізатори. У процесах глибокого гідрування азотвмісних і ароматичних сполук парафінів і масляних фракцій застосовують алюмонікель- або алюмокобальтвольфрамкові каталізатори (АНВ або АКВ) [6].

АКМ і АНМ каталізатори гідроочищення містять 2 ... 4% мас. Со або Ni і 9 ... 15% мас.  $\text{MoO}_3$  на активному  $\gamma$ -оксиді алюмінію

Каталізатори АКМ дуже активні в реакції гідрогенлізу сірчистих з'єднань і мають досить високу термостійкість. Він дуже активний у гідруванні вихідної сировини, сполук азоту та кисню і може бути використаний для гідроочищення всіх паливних фракцій нафти. АНМ каталізатор, в порівнянні з АКМ, більш активний у реакціях гідрування ароматичних вуглеводнів і азотистих сполук і менш активний в реакціях насичення неграничних з'єднань. Однак у нього кілька нижчі показники з термостійкості і механічної міцності.

Регенерація каталізатора. У процесі експлуатації каталізатор поступово втрачає свою активність через закоксування і відкладення на його поверхні металів сировини. З метою відновлення первинної активності каталізатора регенерацію проводять окисним спалюванням коксу. Залежно від складу каталізатора застосовують газоповітряний або пароповітряний способи регенерації. Газоповітряну регенерацію зазвичай проводять при температурах до  $530^\circ\text{C}$  із застосуванням суміші інертного газу та повітря. Регенований каталізатор прискорює реакцію горіння коксу [6].

## 2.5. Гідрокрекінг в процесах виробництва олив для реактивних двигунів.

Мета гідрокрекінгу нафтової сировини аналогічне, як і для каталітичного крекінгу - збільшення глибини переробки нафти та одержання додаткової кількості світлих нафтопродуктів, фракцій олив та зріджених газів  $C_3-C_4$ . При гідрокрекінгу відбуваються реакції, характерні для каталітичного крекінгу, а також реакції гідрування. В результаті на відміну від термічного та каталітичного крекінгу утворюються тільки продукти розкладу, а реакції ущільнення придушуються дією водню. Гідрокрекінг є одним із найбільш гнучких процесів нафтопереробки, оскільки він дозволяє переробляти сировину з різним фракційним складом та отримувати широкий спектр нафтопродуктів шляхом підбору відповідних каталізаторів та умов [6].

Всі реакції вуглеводнів, що спостерігаються в процесі гідрокрекінгу, можна поділити на дві групи - розщеплення та гідрування.

При розкладанні парафінів утворюються низькомолекулярні парафіни та олефіни. Ізоолефіни, насичені воднем, перетворюються на ізопарафіни, звичайні олефіни спочатку ізомеризуються, а потім гідрогенізуються. Отже, у продукті гідрокрекінгу спостерігається значний вміст ізопарафінів. Можлива також ізомеризація n-парафінів.

Ароматичні вуглеводні гідруються і вступають в реакцію деалкілування. Для нафтових вуглеводнів в умовах гідрокрекінгу також характерне деалкілування.

Гетероатомні сполуки в умовах гідрокрекінгу вступають в реакції, характерні для процесу гідроочищення, тобто відбувається розщеплення C-S C- N, та C- O зв'язків з утворенням, відповідно,  $H_2S$ ,  $NH_3$  та  $H_2O$ .

Як і інші каталітичні процеси, металоорганічні сполуки розкладаються в умовах гідрокрекінгу і виділяють вільні метали. Останній необоротно отруює каталізатор, тому для гідрокрекінгу сировини з

високим вмістом металів необхідна попередня гідродеметалізацію [6].

Каталізатори гідрокрекінгу можна розділити на дві категорії - каталізатори з високою гідруючою активністю і низькою кислотною активністю і каталізатори з відносно невисокою гідруючою і високою кислотною активністю. Використання конкретного типу каталізатора має відношення до мети процесу. Цеоліт, оксид алюмінію, алюмосилікат використовуються як кислотні компоненти, мають функції крекінгу та ізомеризації. Компонентами гідрогенізації каталізаторів гідрокрекінгу є метали VIII групи (Co, Ni) і деякі оксиди або сульфід металів VI групи (Mo).

Гідрокрекінг дистильованої сировини проводять при температурі 370...425°C, а залишок становить -425°C і вище. При більш низьких температурах реакція протікає з низькою швидкістю. Перегрів обмежується термодинамічними факторами реакції гідрування та підвищеною швидкістю коксоутворення. Крім того, висока температура збільшує видобуток вуглеводневого газу, що в більшості випадків небажано.

Об'ємна швидкість подачі сировини в процесі гідрокрекінгу знаходиться в межах 0,5 - 4 год<sup>-1</sup> і залежить від необхідної глибини перетворення сировини.

Тиск процесу гідрокрекінгу значно вищий, ніж у процесі гідроочищення, оскільки висока температура гідрокрекінгу перешкоджає реакції насичення ненасиченими та поліциклічними ароматичними вуглеводнями. Реактор гідрокрекінгу підтримує тиск 10...20 МПа.

У процесі гідрокрекінгу витрата водню залежить від мети процесу, характеристик сировини, каталізатора, режиму процесу та інших факторів. Чим легший продукт, отриманий з цієї сировини, тим більше витрата водню. У промислових процесах гідрокрекінгу витрата водневмісного газу знаходиться в межах 1,0 ... 4,0% мас. Різноманітність циклів ВВГ становить 1000 - 1700 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сировини.

Процес гідрокрекінгу являє собою складну сукупність реакцій, що ускладнює визначення теплоти реакції. Загалом термічний процес гідрокрекінгу може змінюватися від -208 до 834 кДж/кг сировини. У більшості випадків негативний тепловий ефект крекінгу перекривається позитивним тепловим ефектом реакції гідрування, а процес гідрокрекінгу є екзотермічним. Тому промислове оформлення процесу передбачає відведення надлишку тепла із зони реакції [6].

Нафтові дистилати, а також залишки є сировиною процесу гідрокрекінгу. Водень вмісний газ надходить на гідрокрекінг з установок каталітичного риформінгу або установки виробництва водню.

Продуктами процесу гідрокрекінгу є бензинові, легкі та важкі газойлеві фракції, а також вуглеводневі гази та сірководень.

Бензин гідрокрекінгу має нижче октанове число, близько 60 для моторного процесу, і тому зазвичай направляється в каталітичний риформінг [6].

Реактивне паливо гідрокрекінгу має низький вміст ароматичних вуглеводнів і високу теплоту згоряння. Рекомендується отримувати тільки пряму сировину (наприклад, вакуумний газойль).

Дизельні фракції гідрокрекінгу характеризуються високим цетановим числом (50.. .55) і низьким вмістом сірки (соті частки процента), а за температурою застигання вони відповідають літнім сортам (температура застигання від -10°C до -20°C).

Вуглеводневі гази гідрокрекінгу складаються з насичених вуглеводнів C<sub>1</sub>- C<sub>4</sub>, причому 20...25 %мас. припадає на суху частину (C<sub>1</sub>~C<sub>2</sub>)-

Процес гідрокрекінгу може бути як одно-, так і дво- ступеневим. Технологічна схема одноступеневого гідрокрекінгу практично не відрізняється від схеми гідроочищення.

Застосовують двоступеневий гідрокрекінг при використанні як сировини для процесу гідрокрекінгу газойлів деструктивних процесів, а також вакуумного газойлю з високим вмістом сірки, азоту та

поліциклічних ароматичних вуглеводнів. На першому ступені використовують стійкий до дії сірковмісних та азотовмісних сполук алюмокобальтмолібденовий каталізатор, а на другому - більш активні каталізатори, на яких проходять розщеплення та ізомеризація. Визначною рисою другого ступеня є можливість регулювання ступеня перетворення сировини (одержання переважно бензину, реактивного чи дизельного палива) шляхом зміни параметрів процесу [6].

Технологічна схема установки гідрокрекінгу для виробництва олів наведена на рис. 2.5.

Вихідна сировина насосом подається для змішування з циркулюючим водневмісним газом, що нагнітається компресором і свіжим воднеммісним газом, що подається з викиду компресора. Газо сировинна суміш нагрівається в теплообміннику та печі і надходить в реактор. Гідрогенізація першого ступеня з подається в теплообмінник, холодильники, де охолоджується до температури сепарації. В сепараторі гідрогенізація відокремлюється від циркулюючого водневмісного газу, надлишок якого віддувається з системи, а основна кількість надходить на прийом компресора і повертається на змішування з сировиною.

Гідрогенізація першого ступеня з розчиненими в ньому вуглеводневими газами, сірководнем та аміаком підлягає чотирикратній стабілізації з поступовим пониженням тиску в сепараторах і колоні. Сухі та жирні газы надходять для моноетаноламінного очищення в колоні. В десорбері регенерується моноетаноламін і виділяється сірководень. Сухий газ та сірководень виводяться з установки, а жирні газы надходять на розділення для виділення фракції [6].

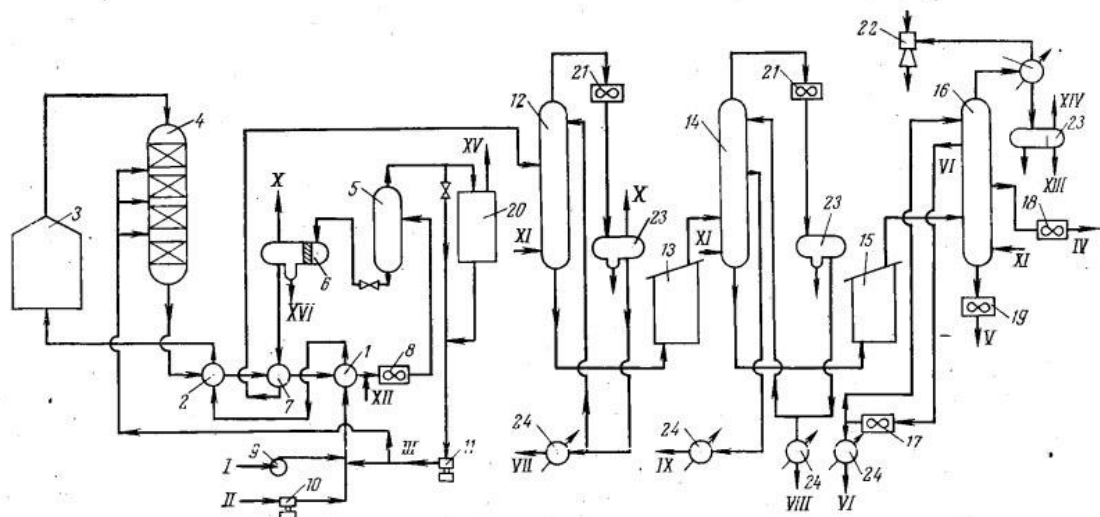


Рис. 2.5. Технологічна схема установки гідрокрекінгу для виробництва олив: 1,2,7 – теплообмінники; 3 – трубчатa піч; 4 – реактор; 5,6 – сепаратори; 8, 17, 18, 19 – холодильники; 9 – насос; 10 – компресор свіжого газу; 11 – компресор циркулюючого газу; 12 – відбензинуюча колона; 13,15 – трубчаті печі в секції функціонування; 14 – проміжна колона; 16 – вакуумна колона; 20 – блок очищення циркулюючого газу; 21 – конденсатор холодильник; 22 – ежектор; 23 – приймач; 24 – холодильник

Гідрогеніза́т першого ступеня закачується знизу насосом, змішується з циркулюючим водневмісним газом другого ступеня та свіжим водневмісним газом і подається в реакторний блок другого ступеня. Схеми реакторного блоку другого ступеня і стабілізації гідрогенізату другого ступеня не відрізняються від схеми першого ступеня. Стабілізований гідрогеніза́т другого ступеня розділяється на фракції в атмосферній колоні і вакуумній колоні.

На відміну від гідроочисних установок на даній установці циркулюючий водневмісний газ не очищується від сірководню, оскільки сірководень концентрується в рідкій фазі до прийнятних рівнів через високий тиск у сепараторі першої ступені. На другому ступені підлягає

крекінгу сировина, очищена від сірки, тому утворення сірководню незначне [6].



## РОЗДІЛ 3

### ОЛИВИ ДЛЯ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ

#### **3.1. Номенклатура та показники якості олив для турбореактивних двигунів.**

Оливи, що використовуються в турбореактивних двигунах призначені для змащування високошвидкісних кулькових та роликів підшипників турбін та компресора, шестерень, коробки приводу паливного та масляного насоса та інших механізмів [19, 20].

Залежно від способу виробництва олив для турбореактивних двигунів можуть бути як на мінеральній (нафтовій) основі, так і продуктами синтезу різних хімічних сполук (синтетичні оливи).

Мінеральні оливи, що використовуються для турбореактивних двигунів, включають такі марки: МС-8п; МК-8. Буква *М* означає олива моторна, *К* – кислотно-контактної очистки від високомолекулярних вуглеводнів (смолисто-асфальтенових речовин), *С* – селективної очистки, *9* – кінематична в'язкість (сСт) за температури 50 °С. *п* – антиокисна та протизносна присадки. Крім цих марок є ще МС-8рк, яка призначена для тривалого збереження двигунів завдяки їх консервації (змащування), *рк* – робоча консерваційна [19, 20].

Олива МС-8п, виробляється за ГОСТ Р 55775-2013 «Олива авіаційна МС-8п. Технічні умови», розробленого на основі ОСТ 38.101163-78. Масло МС-8п виробляється з нафт збагаченого антиокислювальними та протизносними присадками. Має хороші характеристики в'язкості при низьких температурах і високий рівень термоокислювальної стабільності. Олива МС-8рк, виробляється за ТУ 38.1011181-88 на базі оливи МС-8п з додаванням інгібітору корозії. За своїми експлуатаційними характеристиками, разом із змащувальною дією на компоненти системи двигуна, використовується як антикорозійний матеріал для масляних систем авіаційних двигунів. Можливість використання даної марки оливи як робочо-

консерваційної, відображена в аббревіатурі марки літерами «рк». Значення показників якості олив МС-8п та МС-8рк наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

**Основні показники якості олив для турбореактивних двигунів**

Показник якості	Значення		Метод випробування
	МС-8п	МС-8рк	
Густина при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не більше	875	875	ГОСТ 3900
В'язкість кінематична, мм <sup>2</sup> /с (сСТ) при 50 °С, не менше при мінус 40 °С, не більше	8.0 4000	8.0 5000	ГОСТ 33
Масова частка сірки, %, не більше	0.6	0.6	ГОСТ 1461
Кислотне число, мг КОН/г, не більше	0.03	0.05	ГОСТ 5985
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не менше	145	145	ГОСТ 6356
Температура застигання, не вище	-55	-55	ГОСТ 20287(Б)
Вміст водорозчинних кислот та лугів (ВКЛ)	Відсут.	Відсут.	ГОСТ 6307
Вміст механічних домішок	Відсут.	Відсут.	ГОСТ 6370
Вміст води	Відсут.	Відсут.	ГОСТ 2477
Трибологічні характеристики, що визначаються на чотирьох кульковій машині тертя (ЧМТ): критичне навантаження Рк, Н(кгс), не менше діаметр плями зносу кульок при навантаженні 20 кгс, мм, не більше	490 (50) 0.5	490 (50) 0.5	ГОСТ 4990

### 3.2. Синтетичні оливи для турбореактивних двигунів.

Більшість сучасних нафтових змащувальних матеріалів не можуть задовольнити в широкому діапазоні умов експлуатації. Навіть найякісніші мінеральні оливи мають суттєві недоліки: погані в'язкісно-температурні характеристики та низьку стабільність при високих температурах і тисках [21].

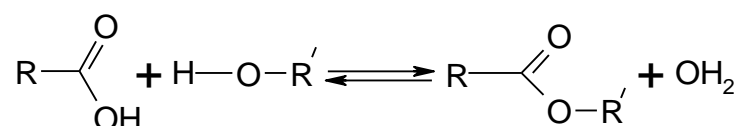
В останні роки все більше уваги приділяється дослідженням властивостей і експлуатаційних характеристик нових за своєю природою мастильних матеріалів.

З великої кількості синтезованих і вивчених хімічних сполук найбільш цікавими є чотири класи синтетичних неуглеводневих оливо:

- на основі складних ефірів;
- поліалкіленгліколеві;
- полісилоксанові,
- фторвуглецеві і хлорфторвуглецеві.

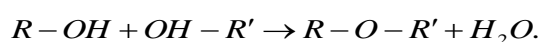
#### 3.2.1. Оливи на основі складних ефірів.

Ефіри утворюються при взаємодії кислот і спиртів:



Такі реакції називаються реакціями етерифікації. Процес етерифікації зворотній. Реакція між ефіром і водою із одержанням кислоти і спирту називається омиленням [21].

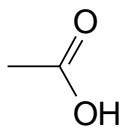
Дві молекули спирту також можуть утворювати молекулу ефіру, виділяючи молекулу води:



У першому випадку утворюються складні ефіри, в другому – прості ефіри.

Спирти містять гідроксильну групу  $OH$ , пов'язану з вуглеводневим радикалом  $R$ . В результаті заміщення у вуглеводнях двох або більше атомів водню на гідроксильну групу утворюються двоатомні або багатоатомні спирти. Зазвичай одноатомні спирти називають алкоголями, двоатомні – гліколями, трьохатомні – гліцерином.

Карбонові кислоти, що входять до складу складних ефірів, є органічними кислотами, що містять одновалентну карбоксильну групу



пов'язану з вуглеводневим радикалом. По кількості карбоксилів в молекулі карбонові кислоти бувають одноосновні і багатоосновні (що мають дві і більше карбоксильних груп) [21].

Прості моноефіри утворюються при взаємодії одноатомних спиртів і одноосновних кислот. Коли двоосновна кислота реагує з одноатомним спиртом або двоатомним спиртом і одноосновною кислотою, утворюється диефір.

Моноефіри мають порівняно високу температуру застигання і круту в'язкісно-температурну характеристику та мають недостатню стабільність, у зв'язку з чим моноефіри менш перспективні в якості основи для змащувальних олив.

Значно кращими властивостями володіють складні ефіри і, зокрема, диефіри.

Важливою перевагою диефірів є здатність синтезувати високомолекулярні сполуки з низьким рівнем випаровування з доступних жирних спиртів і низькомолекулярних кислот. Наявність у таких сполуках двох реакційноздатних груп дозволяє отримувати сполуки з різною структурою та властивостями залежно від експлуатаційних вимог. На сьогоднішній день отримано і досліджено десятки тисяч різноманітних диефірів, багато з яких можуть бути основою високоякісних олив [21].

Властивості діефірів залежать від їх хімічної будови. Зі збільшенням довжини вуглеводневого ланцюга в'язкість і температура застигання збільшуються, а кут кривої в'язкість-температура зменшується. Циклічні групи викликають значне підвищення в'язкості, але погіршують в'язко-температурні характеристики діефіру. Введення бічних ланцюгів в молекулу знижує температуру застигання і знижує в'язко-температурні характеристики діефіру. Найпоширенішими мастилами стали діефіри ізомерної структури [21].

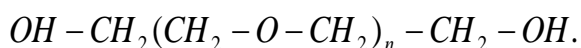
Діефіри використовуються для виробництва змащувальних олив з вищими індексами в'язкості, нижчою температурою застигання, меншою випаровуванням і меншою горючістю, ніж нафта. Змащувальні властивості, стійкість діефіру до кисню та тепла приблизно такі ж, як і у нафти. Діефіри гірше впливають на маслостійкі гумові вироби, оскільки вони викликають набухання і розм'якшення гумових прокладок, шлангів та інших компонентів більше, ніж нафта.

Синтетичні діефірні оливи використовуються в чистому вигляді і в суміші з нафтовим оливами для змащування турбореактивних двигунів (у США, Великобританії), різних механізмів, апаратів, приладів. Діефірні оливи особливо підходять для змащування вузлів тертя, що працюють при низьких навантаженнях, але в широкому діапазоні температур (від  $-65$  до  $120^{\circ}\text{C}$ ). Діефірні оливи можна використовувати як рідини в гідравлічних системах. Для покращення властивостей синтетичних діефірних олив до них додають різні присадки (в'язкі, протизносні тощо) [21].

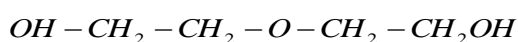
### 3.2.2. Поліалкілгліколеві оливи.

Поліалкіленгліколі (полігліколі) отримують взаємодією різних гліколів і інших спиртів з оксидом етилену, пропілену або з їх сумішею і є по структурі простими поліефірами з довгими ланцюгами, молекула яких може містити

одну або декілька вільних гідроксильних груп. У загальному вигляді формула поліетиленгліколей має наступний вигляд:

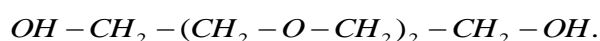


При  $n = 1$  полімер має наступний склад:

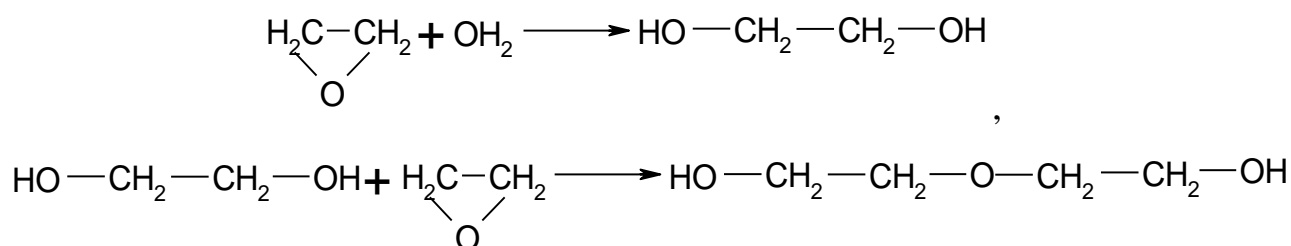


і називається диетиленгліколем.

При  $n = 2$  виходить триетиленгліколь:



Реакція одержання поліетиленгліколей проходить за наступною схемою:



Різні полігліколі можуть бути отримані залежно від взятих в реакцію вихідних спиртів, вуглеводнів і умов проведення процесу.

Полігліколі змішуються в усіх відношеннях з водою і нерозчинні у вуглеводнях.

Ефіри полігліколю отримують за рахунок заміщення гідроксильних груп на групи алкільного ефіру. Етерифікація полігліколю може вводити в молекулу гліколів з різними розмірами радикалів і структурою, тим самим змінюючи властивості отриманого продукту в потрібному напрямку. Шляхом етерифікації кінцевих гідроксильних груп полігліколей можна перетворити на сполуки, які добре розчиняються в нафтових вуглеводнях, але практично нерозчинні у воді. В даний час виробляють розчинні та нерозчинні у воді полігліколі [19, 21].

Залежно від довжини молекулярних ланцюгів і структури полігліколю їх в'язкість може змінюватися від 6-8 до 10 000 мм<sup>2</sup>/с і більше при 50°C. Полігліколеві оливи відрізняються від нафтових кращими протизносними

властивостями, низькою температурою застигання ( $55-65^{\circ}\text{C}$ ), високим індексом в'язкості (в діапазоні 135-180), низькою випаровуваністю. Оливи з полігліколю не утворюють смолистих сполук при високих температурах у присутності кисню та повітря, витримують високі температури (до  $300^{\circ}\text{C}$ ), не піддаються корозії метали, не викликають набухання та розм'якшення синтетичного та натурального каучуку. Їх важче запалити, ніж оливи. На рисунку 3.1 показані їх в'язкість-температурні криві при порівнянні кривих в'язкість-температура мінеральної оливи МК-8 і турбіни МК-22. Цей рисунок показує, що полігліколева олива має більш плоску криву в'язкість-температура, ніж мінеральна олива такої ж в'язкості [21].

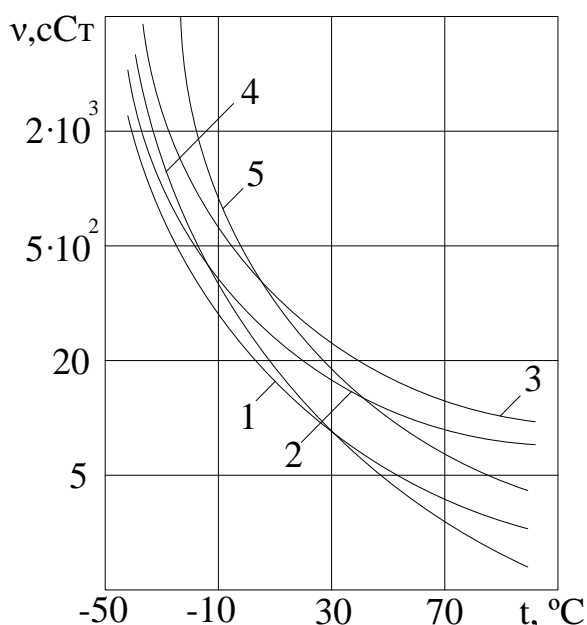


Рис. 3.1. В'язкісно-температурні криві полігліколевих і мінеральних оливи: 1, 2, 3 – полігліколеві оливи; 4 – олива МК-8; 5 – турбінна олива МК-

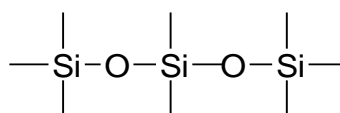
Оливи з полігліколю можуть бути використані в різних технічних сферах: оливи для турбореактивних двигунів, трансмісійні оливи, високонавантажені та високонавантажені роботи, компресорні оливи, гідравлічні оливи тощо.

Полігліколі додають до нафтових олив для поліпшення їх протизносних властивостей, а також застосовують як основу для виготовлення консистентних мастил. Мастила на основі полігліколей характеризуються високою термічною і колоїдною стабільністю і хорошими низькотемпературними властивостями. Достатнім є виробництво синтетичних олив на основі полігліколевих сполук. Вихідними продуктами є ненасичені газоподібні вуглеводні (етилен і пропілен), які можна отримати з природного вуглеводневого газу та промислового газу на нафтопереробних заводах [21].

### 3.2.3. Оливи на основі кремнійорганічних сполук.

Зовсім недавно полімерні кремнійорганічні сполуки, які називаються полісилоксанами або силіконами, широко використовуються як спеціальні змащувальні оливи та рідини.

На відміну від природних нафтових олив, що складаються з вуглеводнів – сполук, в яких молекулярний ланцюг утворений з атомів вуглецю – полісилоксани мають в своїй основі ланцюг з атомів кремнію (*Si*) і кисню (*O*), що чергуються, так звану силоксанову групу:



До атомів кремнію у вигляді бічних ланцюгів приєднані вуглеводневі і інші органічні радикали різної будови. Залежно від довжини молекулярних ланцюгів, будови і складу бічних ланцюгів, полісилоксани мають різні фізичні і хімічні властивості [21].

Відмінними властивостями багатьох кремнійорганічних продуктів є їх висока термостійкість і окиснення, опір до дії вологи і хороші в'язкісно-температурні властивості. Кремнійорганічні сполуки займають перше місце серед інших синтетичних рідин по в'язкісно-температурній характеристиці, що видно з рис.3.2.



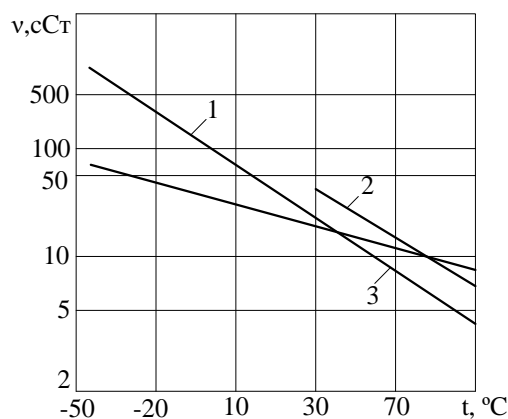
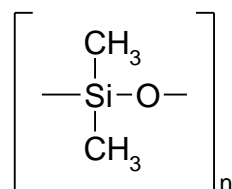


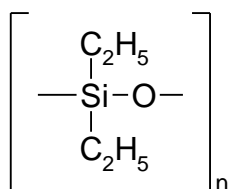
Рис. 3.2. В'язкісно-температурні криві олив: 1 – диметилсилікон; 2 – мінеральна; 3 – похідні полігліколя.

Висока термостійкість кремнійорганічних сполук дозволяє використовувати їх в якості теплоносія в умовах тривалої експлуатації при 350 °С.

Кремнійорганічні сполуки можуть бути основою для виробництва синтетичних змащувальних олив, працездатних при високих температурах і характерних для потужних реактивних двигунів. Практичного значення в якості змащувальних олив і рідин набули полімери з метильними і етильними



радикалами. Перші відповідають загальній формулі і називаються метилполісилоксанами або метилсиліконами, інші відповідають



загальній формулі і називаються етилполісилоксанами або етилсиліконами. Відомі також фенілполісилоксанові сполуки, що містять в бічному ланцюзі фенільні радикали, змішані алкіларилполісилоксани, наприклад метилфеніл-, етилфенілполісилоксани і інші кремнійорганічні

полімерні продукти. Велика робота по дослідженню полісилоксанів проведена вченими К.А. Андріановим, Б.Н. Долговим, М.М. Котонаді, А.П. Крешковим. Вони відкрили ряд досить важливих і своєрідних властивостей полісилоксанів і інших кремнійорганічних сполук [14, 21].

Безбарвна, прозора та оливна рідина різної в'язкості – полісилоксан. Вони нерозчинні у воді, спиртах та інших полярних розчинниках і легко розчиняються у вуглеводнях, галогенідах і вуглеводнях.

Властивості полісилоксанів значною мірою залежать від властивостей силоксанової групи. Зв'язок кремнію з киснем відрізняється більшою термічною стабільністю, ніж органічних полімерів, що визначається більшою енергією утворення зв'язку. Так, енергія зв'язку  $Si-O$  рівна 3,73 КДж/кг, а енергія зв'язку  $C-C$  рівна 2,46 КДж/кг. Енергія зв'язку  $Si-C$  (2,39 КДж/кг) близька до енергії зв'язку  $C-C$ .

Термічна деструкція полісилоксану в основному пов'язана з розщепленням бічних органічних радикалів, а основний ланцюг полімеру силоксану не руйнується. К.А. Андріанов продемонстрував, що окислення органічних радикалів призводить до утворення кисневих мостиків між молекулами полімеру, які перешкоджають контакту кисню з іншими органічними радикалами, уповільнюючи тим самим подальше окислення полімеру [14, 21].

Полісилоксани відрізняються великою хімічною інертністю, що також пояснюється стійкістю зв'язку  $Si-O$ . На них не діють багато агресивних реагентів (нітратна кислота, сульфатна кислота і ін.). Полісилоксанові оливи практично не кородують сталь, чавун, мідь, латунь, алюміній, свинець, бронзу, магній, олово і інші метали навіть при нагріванні до 150 °С.

Мала залежність в'язкості від температури та дуже низька температура застигання полісилоксанів пояснюється малою полярністю цих сполук, і, отже, малими силами міжмолекулярної взаємодії, набагато меншими, ніж навіть в такого молекулярного полімеру, як поліізобутилен.

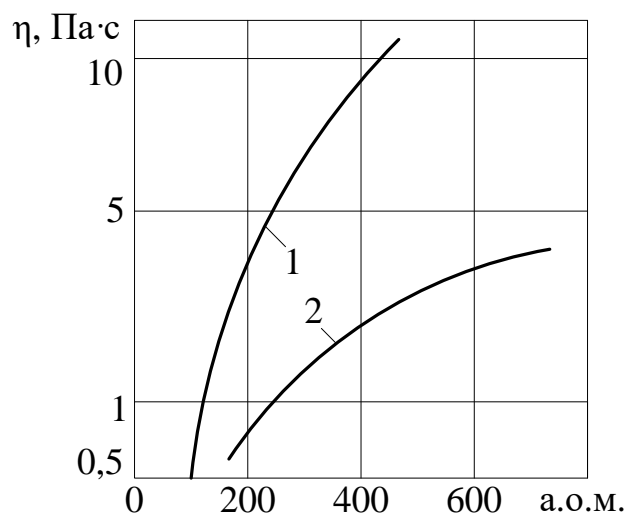


Рис.3.3. Залежність в'язкості від молекулярної маси: 1 – *n*-парафінові вуглеводні; 2 – метилполісилоксани з відкритим ланцюгом.

На рис. 3.3 порівняно в'язкість парафінових вуглеводнів нормальної будови і метилполісилоксанів з відкритим ланцюгом. Полісилоксанові оливи, навіть малов'язкі, мають порівняно високу молекулярну масу і, отже, високі температури кипіння і спалаху.

Значна механічна міцність зв'язку  $Si-O$  обумовлює високий опір механічному руйнуванню полісилоксанів при роботі під великими навантаженнями і при високих швидкостях зрушення.

Хімічна інертність і слабка полярність полісилоксанів призводять до їх поганих протизносних властивостей при граничному терті.

Полісилоксани за протизношувальними властивостями поступаються мінеральним оливам, і це є одним з головних недоліків полісилоксанів як змащувальних олив [22].

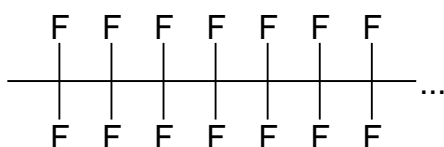
Метил, етил, метилфеніл і етилфенілполісилоксани знаходять своє найбільш практичне застосування як змащувальні оливи та рідини. Полісилоксани зазвичай використовуються там, де висока хімічна та термічна стабільність, хороші в'язко-температурні властивості та не пред'являються високі вимоги до змащуючої здатності оливи. Полісилоксани в суміші з

мінеральними оливами і в чистому вигляді використовуються для передачі тиску в різних гідравлічних системах як робочі рідини для гідравлічних амортизаторів.

Вони використовуються також для виготовлення консистентних мастил і приладових олив [14, 21, 22].

#### 3.2.4. Фторвуглецеві оливи.

Дуже сильно впливає на фізико-хімічні властивості введення фтору в молекули органічних сполук. Фторуванням вуглеводнів отримують сполуки, в яких атоми водню заміщені фтором:



При повному заміщенні всіх атомів водню вуглеводні перетворюються на фторовуглець. В цьому випадку до назви повністю фторованого вуглеводня додають приставку «перфтор».

Фтор – перший елемент групи галоїдів. Він надзвичайно реакційноздатний і в цьому відношенні значно перевершує своїх аналогів: хлор і йод. Пряме фторування вуглеводнів протікає дуже бурхливо і супроводжується вибухом. В даний час розроблені досить зручні способи синтезу фторвуглеводнів. Фторвуглецеві оливи можуть складатися з повністю фторованих парафінових, нафтенових, ароматичних вуглеводнів або вуглеводнів змішаного типу з бічними ланцюгами і циклами. [19, 20].

Перфторвуглецеві оливи на вигляд є прозорими рідинами різної в'язкості. Вони добре розчиняються в петролейному ефірі, етиловому ефірі, хлорованих вуглеводнях і не розчиняються у вуглеводнях, спиртах і воді.

За фізико-хімічними властивостями перфторвуглеводні відрізняються рядом особливостей і, перш за все, надзвичайно високою термічною та хімічною стабільністю. Вони не взаємодіють при кімнатній температурі з

такими сильними окисниками, як нітратна кислота, концентрована сульфатна кислота, хромово кислота і ін. Вони не взаємодіють з натрієм до температури 350 °С. Фторвуглеці стійкі до взаємодії кисню, не горять і не розкладаються до температур 400–500 °С. Термічна стабільність фторвуглеців вища, ніж полісілоксанів. Висока термічна стійкість і хімічна інертність фторвуглеців пояснюються більшою міцністю зв'язку вуглецю з фтором, ніж вуглецю з воднем [19, 20].

Фторовуглецеві оливи мають дуже круту в'язкісно-температурну криву. По в'язкісно-температурній характеристиці вони поступаються навіть мінеральним оливам (рис. 3.4) Густина фторвуглеців в 2–3 рази вища за густину відповідних вуглеводнів. Фторвуглеці мають вищі температури плавлення, ніж вуглеводні такої ж будови. Фторовуглецеві оливи володіють досить хорошими протизношувальними властивостями, які у багатьох випадках не поступаються протизношувальним властивостям мінеральних олив.

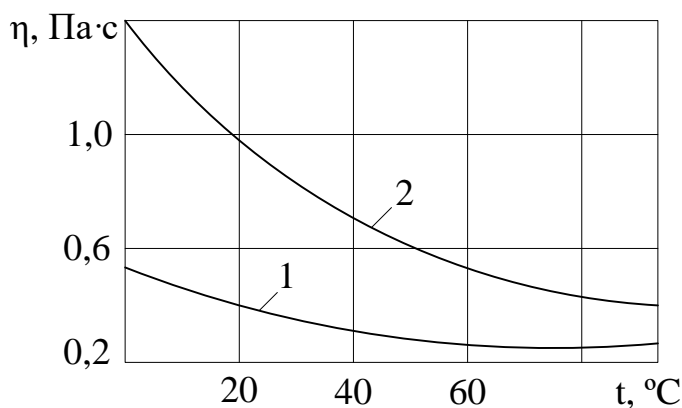


Рис. 3.4. Залежність в'язкості перфторвуглеців і вуглеводнів від температури: 1 – *n*-гептан; 2 – перфтор.

Висока термічна і хімічна стабільність фторовуглецевої оливи використовується у випадку, коли необхідно забезпечити змащення вузлів тертя, що працюють при високих температурах в атмосфері хімічно активних

речовин. Фторовуглецеві оливи застосовують як основу для приготування термічно і хімічно стабільних змащувальних матеріалів.

Хлорфторвуглеці є набагато дешевшими продуктами, ніж фторвуглеці, і використовуються разом з фторвуглецями як мастила.

Хлорфторвуглеці отримують шляхом заміни у вуглеводнях всіх атомів водню частково хлором, а частково фтором. Хлорфторвуглеці по зовнішньому вигляду схожі на фторвуглеці – безбарвні або жовтуваті рідини без запаху. Введення хлору в молекулу фторвуглецю підвищує його температуру кипіння, покращує в'язкісно-температурну характеристику, але одночасно знижує термоокиснювальну стабільність. Густина хлорфторвуглеців значно нижча, ніж фторвуглеців. Протизношувальні властивості хлорфторвуглеців кращі, ніж фторвуглеців. Фторовуглецеві і хлорфторвуглецеві оливи можна використовувати в якості незаймистих рідин для гідросистем літаків, у виробництві атомної енергії, в ракетній техніці і ін.

Консистентні мастила, розроблені оливи і рідини на основі фторвуглеців і хлорфторвуглеців на основі фторпарафіну, фторованих мінеральних олив і поліхлортрифторетилену.

Фторовуглецеві і хлорфторвуглецеві оливи мають високу вартість, тому застосовують їх лише в тих випадках, коли інші оливи непридатні [21].

До синтетичних олив для турбореактивних двигунів відносяться такі марки:

ІММ-10 (ТУ 38.101299) Синтетична вуглеводнева олива на основі поліальфаолефінів, з комплексом високоефективних присадок, призначена для теплонапружених газотурбінних двигунів військової та цивільної авіації, за умови, що температура її на виході з вузла тертя не перевищує 200 °С. Використовується в авіаційних турбохолодильниках, в газоперекачувальних агрегатах з приводом від авіаційного двигуна, а також для короткочасної консервації;

36/1-КУА (ТУ 38.101384) Синтетична олива на основі складних ефірів з комплексом присадок; має високі протизадирні властивості, призначена для

застосування в газотурбінних двигунах з температурою оливи на виході з двигуна 200 °С;

ВТ-301 (ТУ 101295) Синтетична авіаційна олива на основі кремнійорганічної рідини з антиокислювальною присадкою призначена для газотурбінних двигунів з температурою оливи на виході з двигуна не більше 250-280°С;

ПТС-225 (ТУ 38.401-58-1) Синтетична високостабільна олива на основі складних ефірів пентаеритриту та синтетичних жирних кислот. Працездатна при температурі від -60 до +250 °С. Має покращені в'язкісні властивості та високу термоокислювальну стабільність. Призначена для застосування в теплонапруженій авіаційній техніці, а також як уніфіковану олію для обробки нових теплонапружених авіаційних газотурбінних двигунів (ТРД, ТГД, редукторів вертольотів). Відповідає американській специфікації MIL-L-23699F [21].

ВНДІНП – 50-1 – 4ф (ГОСТ 13076) «Олива синтетична ВНДІ НП 50-1-4ф. Технічні умови»). Синтетична діефірна олива, отримана методом хімічного синтезу. Містить присадки, що покращують термоокисну стабільність та протизносні властивості, призначена для застосування в газотурбінних двигунах з температурою на виході до 175 °С та в турбоохолодильниках.

ВНДІ НП – 50-1 – 4у (ТУ 38.401-58-12). Синтетична діефірна олива, одержана методом хімічного синтезу з композицією ефективних присадок, має високу (до 200°С) термоокисну стабільність з допустимим перегріванням до 225°С. Призначена для сучасних газотурбінних двигунів та нової перспективної техніки.

При позначенні мінеральних олив спочатку в аббревіатурі ставиться велика буква «М», для синтетичних олив в основному використовується аббревіатура, присвоєна розробником. Так, наприклад, для олив «ВНДІ НП – 50-1 – 4ф» та «ВНДІ НП – 50-1 – 4у» аббревіатура «ВНДІ НП» вказує на

організацію-розробника, цифра «50», на те, що ця олива має рівень термоокисної стабільності не менше 50 годин.

### **3.3. Застосування присадок для покращення якості авіаційних олив.**

Майже всі моторні оливи одержують змішуванням базових олив з додаванням присадок різного функціонального призначення [9, 16].

*Протизносні і протизадирні присадки.* З метою підвищення змащувальної здатності олив, що виявляється в зменшенні тертя, зносу і задирок металевих поверхонь, в оливу вводять протизносні (понижуючі знос) і протизадирні (запобігають задирку контактних поверхонь) присадки. Протизадирні і протизносні присадки хімічно взаємодіють з металевими поверхнями.

Протизадирні присадки – присадки до мастильних матеріалів, які запобігають, обмежують або затримують заїдання поверхонь тертя при високих контактних температурах і навантаженнях. Заїдання викликаються тим, що при пластичній деформації, яка виникає при терті, виникають ювенільні (чисті) поверхні та вакансії в кристалічній решітці металу. Хімічно-активні протизадирні присадки реагують з ювенільними поверхнями, насичуючи вакансії кристалічної решітки і тим самим запобігаючи схоплюванню. В якості протизадирних присадок використовують органічні похідні сірки і хлору.

Можна утворити дуже тонкі шари, межа міцності на зріз яких значно менша, ніж у металів завдяки протизносним присадкам на поверхнях ковзання. Цей шар в звичайних умовах твердий, а за умов зносу (при високому тиску і температурі), він стає таким, що ковзає. Таким чином, уникається надмірний знос (заїдання або зварювання). За допомогою хімічної реакції можна при необхідності (контакт метал/метал) постійно утворювати нові шари [9, 16].

Найвідоміший представник цієї групи - цинковий дитіофосфат, який додатково діє також як присадка проти старіння і корозії.



Дія відбувається шляхом утворення поверхневих шарів на металі, які при неоднорідному терті повинні зменшувати зварювання шорсткостей один з одним, а також дозволяти ковзання дотичних рухомих металевих поверхонь без зносу. Одночасно тут також бажане зменшення тертя.

Протизадирні та протизношувальні і присадки - речовини, що підвищують змащувальну здатність в умовах граничного і змішаного режимів тертя, запобігаючи інтенсивному зносу пар тертя в триботехнічному контакті внаслідок утворення адсорбційних шарів, хемосорбційних граничних плівок або хімічних з'єднань з металом, які перешкоджають схоплюванню поверхонь. Активними компонентами молекул є сірка, фосфор, хлор. Відомі також присадки, що містять свинець, молібден (у поєднанні з сіркою і фосфором).

Механізм дії сірковмісних присадок полягає в адсорбції молекул на поверхні металу, утворенні меркаптиду R-S-Me в результаті перебігу реакцій взаємодії вільних радикалів при розриві S - S зв'язку з активними атомами металу. При подальшому підвищенні температури відбувається розрив зв'язку C-S і утворення неорганічних плівок сульфідів заліза.

Хлоровмісні присадки при високих температурах розкладаються, виділяючи атомарний хлор, утворюючи на сталевих деталях плівку хлорного заліза, яка має шарувату структуру і має протизносні властивості. Механізм триботехнічної дії фосфоровмісних присадок ґрунтується на тому, що при термічному розкладанні фосфор утворює легкоплавку евтектичну суміш фосфідів металів або відбувається утворення кислих органічних фосфінів на ювенільній поверхні металу, які забезпечують зниження зносу [9, 16].

*В'язкісні присадки.* Найсучасніші оливи повинні забезпечувати працездатність механізмів в широкому діапазоні температур (від мінус 40-60 до плюс 200-250 °С). Значне зростання в'язкості нафтових олив при охолодженні і її зменшення при підвищених температурах послаблюють нормальну роботу машин і механізмів. Щоб запобігти різкій зміні в'язкості з температурою (збільшення індексу в'язкості) і підвищити прокачуваність олив при низьких температурах, в них вводять в'язкісні присадки. Без їх

використання неможливе також одержання арктичних і всесезонних олив. Як в'язкісні присадки застосовують, як правило, високомолекулярні органічні розчин поліізобутилену, поліметакрилати - продукти полімеризації ефіру метакрілової кислоти [9, 16].

Сополімери стиролу та дієнів, беззолні фосфорсірковмісні присадки на основі ефірів метакрілової кислоти є перспективними в'язкісними присадками. За інших рівних умов найбільшою загущуючою здатністю володіє поліізобутилен. Проте найкращі в'язкісно-температурні властивості характерні для олив, загущених поліметакрилатами і сополімерами ізобутилену з стиролом. При інтенсивній механічній і термічній дії в'язкісні присадки піддаються деструкції, і загущаюча здатність їх знижується. Чим вище молекулярна маса полімера, тим краще його загущаюча здатність, але тим більшою мірою він схильний до термомеханічної деструкції. Для запобігання їй в оливу вводять антиокиснювальні присадки.

Механізм дії в'язкісних присадок який має бути точним не встановлений. Їх здатність запобігати різкій зміні в'язкості олив в широкому температурному діапазоні пов'язують із здатністю макромолекул полімеру змінювати свою конфігурацію з температурою: згортатися в клубки при високій температурі і витягується в довгі лінійні утворення при низькій [9, 16].

*Інгібітори корозії і протикорозійні присадки.* Металеві вироби піддаються корозії та пошкодженню при зберіганні та експлуатації під впливом навколишнього середовища (кисень, волога, хімічно активні продукти). Нафтові оливи без присадок не в змозі забезпечити тривалий і надійний захист цих виробів від корозії. Щоб поліпшити захист металів від корозії, в оливи вводять маслорозчинні органічні речовини, що перешкоджають корозії металів в умовах атмосферної дії (електрохімічною корозії) — інгібітори корозії і під дією продуктів, присутніх в оливі — протикорозійні присадки. Зважаючи на різні причини корозійного руйнування металів доводиться використовувати в оливі присадки різного складу і механізму дії.

В якості інгібіторів корозії використовують солі нафтових і синтетичних сульфокислот (БСК, КСК), продукти взаємодії сульфокислот і сечовини (БМП), продукти окислення петролатумів і церезинів, нітрований окислений нітролатум (НОП), кальцієві солі нітрованої олії (АКОР-1), та ін. Застосовують також комбіновані інгібітори корозії на основі присадок алкілфенольного і сульфонатного типу з додаванням СЖК (інгібітор корозії КП) - В якості протикорозійних присадок в основному використовують сірко- і фосфорорганічні сполуки - сульфіди, дисульфіди, фосфати.

Механізм дії інгібіторів корозії зводиться до безперервних процесів: витісненню води (електроліту) з поверхні металу; утримуванню води в об'ємі нафтопродукту; утворенню на поверхні металу адсорбційно-хемосорбційних шарів інгібітору корозії, гідрофобізуюча поверхня і що перешкоджають контакту електроліту з металом; гальмуванню анодного і катодного корозійних процісів руйнування металу захисною плівкою інгібітору корозії, що утворилася.

Протикорозійні присадки утворюють адсорбційну або хемосорбційну захисну плівку на металевих поверхнях, щоб запобігти контакту корозійно-агресивних компонентів оливо з металом [16].

*Антиокисні присадки.* Стабільність проти окиснення є найважливішою експлуатаційною властивістю оливо, що визначає тривалість їх роботи. В процесі експлуатації оливо під впливом кисню повітря, високих температур, навантажень, каталітичної дії металів вуглеводні, що входять до складу оливо, піддаються окисненню, деструкції, полімеризації і ряду інших хімічних перетворень. При цьому внаслідок утворення і накопичення кисневмісних сполук і вуглецевих продуктів ущільнення змінюється склад оливо і погіршуються їх експлуатаційні властивості. Продукти окиснення погано розчинені в оливах, сприяють утворенню осаду і нагару, викликають корозію і посилюють знос деталей. З метою попередження або зменшення окиснюваності оливо при зберіганні і експлуатації широко застосовують антиокиснювальні присадки. Залежно від температурного діапазону роботи

олив антиокиснювачі ділять на низько- і високотемпературні. У моторні оливи вводять високотемпературні окиснювачі (ДФ-11, ВНІ НП-354 і ін. ), в індустриальні, трансформаторні — низькотемпературні (іонол, дифеніламін і ін [16].

Антиокиснюючі присадки оберігають вуглеводні від окислення, взаємодіючи з тими, що утворюються вільними радикалами (R- і ROO-) або переводячи гідропероксиди (ROOH) в стійкий стан, обриваючи і не допускаючи тим самим розвитку ланцюгової реакції. Такі присадки відносяться до групи інгібіторів окиснення, найширше вживаних в оливах. У залежності від складу інгібітору окиснення (алкілфеноли, аміни, сіро і фосфоровмісні речовини) механізм їх дії різний.

Таким чином, алкілфеноли обривають ланцюгову реакцію окиснення, реагуючи з пероксидними радикалами. На її ефективність впливає будова замісників і положення їх в молекулі органічної сполуки. Для пояснення дії інгібіторів окиснення типу аміну запропонований так званий механізм «прилипання», при якому пероксидний радикал утворюється з молекулою інгібітору радикал — комплекс, пов'язаний, у свою чергу, з пероксидними радикалами.

Механізм дії сульфідів і алкілфосфітів (продуктів, що не містять груп амінів і фенольних) полягає в розпаді гідропероксидів з подальшим утворенням стабільних молекул. Складнішою представляється дія діалкілдітіофосфатов металів, які на початковій стадії окислення вуглеводнів (як самі, так і продукти їх термічного перетворення) гальмують процес, деактивуючи радикали (в основному ROO-), що утворюються, а надалі — розкладаючи перекису водню. У зв'язку з цим інгібітори окиснення інколи підрозділяють на деактиватори вільних пероксидних радикалів (аміни, феноли) і розкладають гідропероксиди (сульфіди, дисульфідиди).

Окрім інгібіторів окиснення існують і інші присадки, що підвищують стабільність олив проти окиснення, — це деактиватори і пасиватори металів. Деактиватори попереджують або зменшують каталітичну дію маслорозчинних

солей металів унаслідок утворення комплексів. Пасиватори утворюють на поверхні металу хемосорбованні плівки, захищаючи нафтопродукт від каталітичної дії металу. Багато антиокислювачів виконують одночасно і функції протикорозійних присадок, запобігаючи утворенню низькомолекулярних корозійно-агресивних продуктів окиснення [16].

## ВИСНОВОК

Досліджено умови та особливості роботи олив у турбореактивних двигунах. Показано, що основними вузлами змащування є підшипники кочення турбіни, температура яких у дозвукових повітряних суднах сягає 175 °С, а температура оливи, що виконує функцію змащувального матеріалу та відводу тепла з вузла тертя сягає 90 °С. У надзвукових повітряних суднах ці температури становлять, відповідно, 300-400 °С та 150-200 °С, що призводить до інтенсивного окиснення олив.

Розглянуто технологічні процеси підготовки нафти до переробки, її переробку та застосування гідрогенізаційних процесів у технології виробництва мінеральних олив.

Для покращення якості олив проводиться процес каталітичного гідроочищення, який застосовується для підвищення окисної стабільності вуглеводнів та вилучення сірко-, азото- та кисневмісних сполук, що негативно впливають на експлуатаційні властивості змащувальних матеріалів.

Проаналізовані переваги, недоліки та перспективи застосування синтетичних олив.

Наведено основні показники якості мінеральних олив для турбореактивних двигунів та застосування присадок для покращення їх якості.

## СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія виробництва авіаційних двигунів: підруч. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за спец. «Технологія виробництва авіац. двигунів» та «Авіац. двигуни та енергет. установки». Ч. 4 : Складання авіаційних двигунів / В. О. Богуслаєв, О. Я. Качан, А. І. Долматов та ін. під ред. В. О. Богуслаєва. Запоріжжя: АО «Мотор Січ», 2013. 329 с.
2. Технологія виробництва авіаційних двигунів: підруч. для студентів ВНЗ. Ч. 5: Випробування авіаційних двигунів / В. О. Богуслаєв, О. Я. Качан, А. І. Долматов, В. Ф. Мозговий ; під ред. В. О. Богуслаєва. Запоріжжя: АО «Мотор Січ», 2015. 330 с. 1 і 2 проставити в Розділі 1.
3. Технологія нафти та газу: навчальний посібник. Друге видання / Братичак М.М., Гринишин О.Б. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2013. – 180 с.
4. Технологія первинної переробки нафти і газу: підручник / П.І.Топільницький, О.Б. Гринишин, О.Я. Мачинський. Львів, Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2014. – 468 с.
5. Шпак О.Г. Нафта і нафтопродукти. – К.: Ясон, 2000. – 370 с.
6. Топільницький П.І., Гринишин О.Б. Гідрокрекінг: монографія. Львів, Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 347 с.
7. Топільницький П.І. Первинна переробка природних і нафтових газів та газоконденсатів: навчальний посібник. Львів, Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 260 с.
8. Гуменецький В. процеси та обладнання нафтопереробних заводів. Львів, Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 260 с.
9. Бойченко С.В., Черняк Л.М., Новикова В.Ф. та ін. Контроль якості паливно-мастильних матеріалів: навчальний посібник. К.: НАУ, 2012. 308с.

10. Бойченко С.В., Черняк Л.М., Любінін Й.А. та ін. Хімотологія та інженерне забезпечення використання газу і паливно-мастильних матеріалів: навчальний посібник. К.: НАУ, 2014. 276с.
11. Топільницький П.І., Журба В.А., Максимик В.Я. Характеристика моторних олив зарубіжного виробництва. Львів, Видавництво Держ. університету «Львівська політехніка», 1999. – 166 с.
12. Андрійшин М.П., Марчук Я.С., Бойченко С.В. та ін. Газ природний, палива та оливи. – Одеса, Астропринт, 2010. – 232с.
13. Бойченко С.В., Спіркін В.Г. Вступ до хімотології палив та олив. / У двох частинах. За ред. І.Г. Фукса. – Одеса, Астропринт, 2009, 2010.
14. Робертс А. Мейерс. Основные процессы нефтепереработки. Справочник: пер.с англ./ Р.А. Мейерс и др., под ред. О.Ф. Глаголевой. – СПб.: Изд. ЦОП «Профессия», 2011. – 944с.
15. Valerii Yefymenko. Oxidative stability of lubricating materials with fullerene nanoadditives/ Valerii Yefymenko, Tetiana Kravchuk , Oleksandr Yefimenko// – К.: Вісник НАУ, №1, 2021. – Р. 57 - 62.  
<https://doi.org/10.18372/2306-1472.86.15445>
16. Єфименко В.В., Калмикова Н.Г., Єфіменко О.В. Оцінка якості моторних олив у процесі їх експлуатації // X Міжнародна науково-технічна конференція «Поступ у нафтопереробній та нафтогазовій промисловості», 18-23 травня 2020, Львів, Україна :- 2020. – С. 71-74. <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/53891>
17. Єфименко В.В., Калмикова Н.Г. Техногенне навантаження на природне середовище ПММ у процесі експлуатації гелікоптерів // V Міжнародно-практична конференція «Новітні досягнення біотехнології», 22- 23 вересня 2021р. тези доп.: – К.: НАУ, 2021. – С.49-51.
18. Єфименко В.В., Калмикова Н.Г. Технології підвищення екологічної безпеки від випаровування ПММ під час експлуатації гелікоптерів // Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні хімічні технології: екологічність, інновації, ефективність», 7 – 8 жовтня 2021 р. тези доп.: – Херсон, Херсонський національний технічний університет, 2021р. – С.42.



19. Калмикова Н.Г., Єфименко В.В. Оливи та умови їх роботи в системі змащування гелікоптерів / X Ювілейна Міжн. наук.-практ. конф. «Хімія та сучасні технології», 23-24 листопада 2021р. тези доп.: – Дніпро, ДХТУ, Т.2. 2021. – С. 92-94. <https://udhtu.edu.ua/studentskinaukovizahodu>
20. Yefymenko Valerii, Kalmykova Nataliia, Kravchuk Tetiana // Oils for gas turbine engines of «AIRBUS HELICOPTERS H-145». The XVIII International Scientific and Practical Conference «Advancing in research, practice and education», May 10 – 13, 2022, Florence, Italy. 677 p. (585-590 p.) UDC 01.1, ISBN – 979-8-88526-737-3, DOI – 10.46299/ISG.2022.1.18 .  
<https://isg-konf.com/uk/advancing-in-research-practice-and-education-two/>
21. Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition J.P.Kennedy, E.Marechal. Carbocationic Polymerization. N.-Y., 1982. 510 P.
22. Sckolnikov V.M. Improvement of Antioxidation and Antiwear Properties of Polyalphaolefin Oils / Sckolnikov V.M. et al. // Synthetic Lubrication, 1990, v.7, № 3.– p. 235–241.