

ISBN 978-83-68188-14-1

Бойко С.М., Касаткіна І.В.,
Жуков О.А., Реута А.В., Лапіна О.С.

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Навчальний посібник

**Бойко С.М., Касаткіна І.В., Жуков О.А., Реута А.В.,
Лапіна О.С.**

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Навчальний посібник

Варшава – 2024

УДК 621.31

Авторський колектив:

Бойко С.М., Касаткіна І.В., Жуков О.А., Реуга А.В., Лапіна О.С.

Рекомендовано до друку вченою радою Криворізького національного
університету 28 травня 2024 р. (протокол № 11)

Рецензенти: **Котов О.Б.**, д.т.н., професор, (Національний університет
«Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)
Саблін О.І., д.т.н., професор, (Український державний
університет науки і технологій, м. Дніпро)

Енергетичні ресурси транспортних засобів. Навчальний посібник /
С.М. Бойко, І.В. Касаткіна, О.А. Жуков, А.В. Реуга, О.С. Лапіна – Варшава:
iScience Sp. z o.o. – 2024 – 319 с.

Навчальний посібник висвітлює питання застосування, зберігання та транспортування сучасних енергетичних ресурсів транспортних засобів усіх видів (наземних, водних, авіаційних). Особливу увагу приділено основним енергетичним ресурсам транспортних засобів, їхній класифікації, характеристикам, особливостям застосування, а також питанням захисту навколишнього середовища, пожежної безпеки та охорони праці під час їх зберігання. Навчальний посібник є продовженням науково-методичних праць авторського колективу.

Навчальний посібник, буде корисним для студентів, аспірантів спеціальностей 141 – «Енергетика, електротехніка та електромеханіка», 275 – «Транспортні технології», 272 – «Авіаційний транспорт» та для науковців.

ISBN 978-83-68188-14-1
УДК 621.31

© Бойко С.М., Касаткіна І.В., Жуков О.А.,
Реуга А.В., Лапіна О.С., 2024
© iScience Sp. z o. o.

Слово до читача...

Навчальний посібник «Енергетичні ресурси транспортних засобів» висвітлює основні сучасні енергетичні ресурси транспортних засобів, їхню класифікацію, характеристики, особливості їх застосування та питання захисту навколишнього середовища, пожежної безпеки та охорони праці під час їх зберігання. Навчальний посібник є продовженням науково-методичних праць творчої когорти науково-педагогічного авторського колективу, який поєднав у даній роботі фахівців у галузі транспорту, авіаційної безпеки, енергетики, хімії, екології та охорони навколишнього середовища.

Враховуючи світовий досвід застосування енергетичних ресурсів на сучасних видах транспортних засобів усіх видів, окрім традиційних паливно-мастильних матеріалів, слід виокремлювати також електричні енергетичні ресурси та технології водневої енергетики. Безумовно, такий підхід має на меті комплексно показати існуючі види енергетичних ресурсів транспортних засобів та охарактеризувати їх з хімічної та енергетичної точок зору. Тому на початку навчального посібника наведено декілька розділів, що пояснюють хімічні процеси сучасних видів енергетичних ресурсів.

Особлива подяка рецензентам Котову О.Б., д.т.н., проф. (Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя) та Сабліну О.І., д.т.н., проф. (Український державний університет науки і технологій м. Дніпро).

Автори

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ	
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	9
1.1 Поняття та класифікація паливно-мастильних енергетичних ресурсів транспортних засобів	9
1.2 Поняття та класифікація систем накопичення електричної енергії.....	13
1.3 Класифікація і стисла характеристика паливних елементів.....	31
Контрольні питання до розділу 1	39
РОЗДІЛ 2 ХІМІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА	40
2.1 Поняття хімічної термодинаміки	40
2.2 Енергетика хімічних процесів. Внутрішня енергія і ентальпія.....	40
2.3 Термохімічні рівняння. Закон Гесса	42
2.4 Напрямок мимовільного протікання хімічних процесів. Ентропія і енергії Гіббса	43
Контрольні питання до розділу 2	46
РОЗДІЛ 3 ХІМІЧНА КІНЕТИКА	47
3.1 Поняття хімічної кінетики. Гомогенні і гетерогенні системи ..	47
3.2 Поняття каталізу. Ланцюгові реакції.....	49
3.3 Хімічне рівняння. Незворотні і оборотні реакції. Зміщення хімічної рівноваги. Принцип Ле-Шательє.....	51
Контрольні питання до розділу 3	53
РОЗДІЛ 4 РОЗЧИНИ	54
4.1 Характеристика розчинів. Способи виразу концентрації розчинів. Гідрати і кристалогідрати. Розчинність. Поняття осмосу і осмотичного тиску. Перший закон Рауля.....	54
4.2 Замерзання і кипіння розчинів. Особливості розчинів солей, кислот та основ. Теорія електролітичної дисоціації. Ступінь дисоціації. Константа дисоціації. Теорія сильних електролітів.....	57
4.3 Властивості кислот, основ і солей з погляду теорії електролітичної дисоціації. Поняття про іонно-молекулярні рівняння	64
Контрольні питання до розділу 4	69
РОЗДІЛ 5 ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ	71
5.1 Поняття про ступінь окиснення елементів. Окисно- відновні реакції і їх типи	71
5.2 Найважливіші окисники і відновники. Складання рівнянь окисно-відновних реакцій.....	72
Контрольні питання до розділу 5	74

РОЗДІЛ 6 ОСНОВИ ЕЛЕКТРОХІМІЇ	75
6.1 Ряд напруг металів. Електроліз.....	75
6.2 Застосування електролізу в промисловості. Поняття корозії металів.....	78
6.3 Хімічні джерела електричного струму	79
Контрольні питання до розділу 6	89
РОЗДІЛ 7 ВИРОБНИЦТВО НАФТОВИХ ПАЛИВ ТА ЇХ ХІМІЧНИЙ СКЛАД	90
7.1 Склад нафти. Парафіни, циклопарафіни й ароматичні вуглеводні	90
7.2 Характеристика нафти в залежності від місцезнаходження. Гіпотези походження нафти	93
7.3 Одержання палив. Пряма перегонка та крекінг. Очищення палив	102
7.4 Основні властивості палив.....	106
7.5 Фізико-хімічні властивості пально-мастильних матеріалів	107
7.6 Експлуатаційні властивості палив	123
7.7 Методи визначення фізико-хімічних властивостей.....	128
7.8 Вплив фізико-хімічних властивостей на надійність, довговічність, ефективність та безвідмовність роботи авіаційної техніки.....	131
Контрольні питання до розділу 7	135
РОЗДІЛ 8 ПАЛИВО ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ	136
8.1 Сорти палив для ГТД. Взаємозамінність вітчизняних і закордонних палив.....	136
8.2 Основні експлуатаційні властивості палива для газотурбінних двигунів (ГТД)	142
8.3 Палива для поршневих двигунів. Особливості процесу згорання в поршневому двигуні	145
8.4 Оцінка детонаційної стійкості бензинів. Детонаційні характеристики вуглеводнів. Октанове число. Високооктанові компоненти і антидетонатори.....	149
8.5 Марки авіаційних бензинів	155
8.6 Хімічний склад палив для дизельних двигунів. Умови згорання палива та забезпечення м'якої роботи двигуна. Прокачувальна здатність і сумішоутворюючі властивості дизельних палив.....	157
8.7 Оцінка самозаймистості і цетанове число палива. Асортимент палив для дизельних двигунів та область їх застосування	164
8.8 Газоподібні палива.....	167
8.9 Палива на основі ефірів та спиртів	171
8.10 Перспектива розвитку альтернативних видів палив. Проблеми	

використання та впровадження нових видів палив.....	174
8.11 Нормативна база чинного законодавства України, щодо приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах.....	181
Контрольні питання до розділу 8	182
РОЗДІЛ 9 ЗБЕРІГАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ПАЛЬНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	183
9.1 Засоби транспортування та приймання пально-мастильних матеріалів на склад	183
9.2 Контроль якості та лабораторії пально-мастильних матеріалів підприємств цивільної авіації.....	202
9.3 Лабораторії якості та основи метрологічного забезпечення контролю якості авіаційних пально-мастильних матеріалів.....	210
9.4 Засоби зберігання пально-мастильних матеріалів. Резервуари та їх обладнання.....	217
9.5 Засоби заправки повітряних суден та підготовка авіаційних пально-мастильних матеріалів до заправки повітряного судна	230
РОЗДІЛ 10 ПАЛИВО ДЛЯ НАЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	241
10.1 Газ.....	241
10.2 Рідкі види палива	244
Контрольні питання до розділу 10.....	249
РОЗДІЛ 11 ЕЛЕКТРИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	250
11.1 Світові перспективи використання накопичувачів електричної енергії на транспорті.....	250
11.2 Акумулятори	250
11.3 Суперконденсатори	255
Контрольні питання до розділу 11.....	258
РОЗДІЛ 12 ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	259
12.1 Функціональні елементи транспортних засобів з використанням комплексних енергетичних ресурсів	259
12.2 Ефективність використання комплексної енергетичної установки	270
Контрольні питання до розділу 12.....	289
РОЗДІЛ 13 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ РОБОТІ З ЕНЕРГОРЕСУРСАМИ.....	290
13.1 Екологічні аспекти транспортної галузі	290

13.2 Техніка безпеки при роботі з паливороздавальним обладнанням.....	294
13.3 Вплив енергоресурсів на навколишнє середовище	297
Контрольні питання до розділу 13.....	303
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ДЛЯ КОРИСТУВАННЯ ЛІТЕРАТУРИ	304

ВСТУП

Реалії сьогодення спрямовують розвиток світової економіки у напрямку декарбонізації, що зумовлено екологічними аспектами сьогодення та обмеженням енергетичних ресурсів у ряді регіонів планети.

Між тим, на сьогодні транспортні засоби всіх видів використовують широкий спектр різних видів та марок енергетичних ресурсів, котрі відрізняються не тільки за хімічним складом та походженням, а й за енергетичними властивостями.

Слід зауважити, що виробництво сучасних транспортних засобів всіх видів орієнтоване на сьогоднішній день на широкий спектр енергетичних ресурсів. Такий стан справ вказує на необхідність вивчення не лише традиційних видів палива, а й сучасних видів енергетичних ресурсів, що використовуються на транспорті.

Серед іншого слід зауважити, що питання охорони навколишнього середовища, безпека застосування енергетичних ресурсів та безпечне їх зберігання залишається актуальним. Особливо слід зазначити необхідність вивчення хімічних властивостей сучасних видів палива з метою безпечного їх безпечної експлуатації та зберігання.

Безумовно, в аспекті інтелектуалізації та декарбонізації у тому числі транспортної галузі, актуальним є впровадження сучасних ефективних видів енергетичних ресурсів. З посеред інших, слід звернути увагу на сучасний вид енергоресурсу – електричну енергію. Електрична енергія є чудовим видом енергетичного ресурсу для транспортних засобів, як в аспекті інтелектуалізації, так і в аспекті декарбонізації, між тим потребує сучасних ефективних та негабаритних накопичувачів.

Тож, актуальною залишається проблематика впровадження сучасних технологій на транспорті як на світовому, так і державному та регіональному рівнях, що в свою чергу має стимулювати розвиток впровадження нових сучасних видів енергетичних ресурсів та відповідної інфраструктури для них.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Поняття та класифікація паливно-мастильних енергетичних ресурсів транспортних засобів

Пальне – нафтопродукти, скраплений газ, паливо моторне альтернативне, паливо моторне сумішеве, речовини, що використовуються як компоненти моторних палив, інші товари, зазначені у підпункті 215.3.4 статті 215 Податкового кодексу України.

Пальне – це речовина, що є джерелом енергії при спалюванні в двигунах, котельних та інших енергетичних установках.

Пальне (на відміну від решти видів палива) використовують переважно для засобів пересування (автомобілів, локомотивів, плавзасобів, літаків, ракет тощо), тому воно повинно складати достатньо малу частину об'єму і ваги засобу пересування, щоб забезпечити його високу ефективність.

Іноді вживається термін «хімічне пальне», щоб підкреслити той факт, що енергія виділяється в процесі хімічної реакції окиснення (горіння) [1-11].



Рисунок 1.1 – Види рідкого виду палива

Нафтопродукт – продукт, отриманий під час перероблення нафти, газового конденсату або їх суміші, за винятком продуктів нафтохімії.

Моторні палива – ті види палива, що використовуються в двигунах внутрішнього згоряння. Основним сировинним джерелом отримання моторних палив є нафта та газовий конденсат.

Предметом цього дослідження є такі види моторного палива:

- бензини;
- дизельне пальне;
- скраплений газ;
- біопаливо.

Бензин – нафтове паливо для використання у поршневих двигунах з іскровим запалюванням.

Автомобільний бензин – бензин для використання в автомобільних двигунах внутрішнього згоряння.

Відповідно до ДСТУ 4839:2007, залежно від октанового числа, встановлено такі марки автомобільних бензинів:

- А-92-Євро – з октановим числом за дослідним методом не менше ніж 92;
- А-95-Євро – з октановим числом за дослідним методом не менше ніж 95;
- А-98-Євро – з октановим числом за дослідним методом не менше ніж 98.

За вмістом сірки бензини ділять на **два** види:

- I – вміст сірки не більше ніж **10 мг/кг**;
- II – вміст сірки не більше ніж **50 мг/кг**.

Дизельне паливо – нафтове паливо для використання у двигунах внутрішнього згоряння із запалюванням від стискання.

Згідно з ДСТУ 7688:20155, за кліматичними умовами використання встановлено такі марки дизельного палива:

- Л – літнє, що використовують за температури повітря не нижче ніж 5°C;
- З – зимове, що використовують за температури повітря від 5°C до мінус 20°C;
- Арк. – арктичне, що використовують за температури повітря нижче ніж мінус 20°C.

За рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи дизельного палива: Євро-3, Євро-4, Євро-5.

Вуглеводневі гази (ВГ) це суміші природних аліфатичних вуглеводнів різної будови, які знаходяться у порах і пустотах гірських порід, розчинені у нафті і пластових водах або розсіяні у ґрунті.

Природні вуглеводневі гази або природні гази (ПГ) (англ. – natural gas або NG) – це природна суміш різних газових компонентів, які перебувають у газоподібному агрегатному стані.

Зріджений вуглеводневий газ (ЗВГ) (англ. – liquefied natural gas або LNG) – це природний вуглеводневий газ, який за нормальних значень тиску і температури навколишнього середовища ($p_c = 0,101325$ МПа, $t_c = 20^\circ\text{C}$) перебуває в газоподібному стані, але в разі зниження температури до $t = -160^\circ\text{C}$ і підвищення тиску переходить у рідкий стан, що полегшує його зберігання й перевезення.

Під час зрідження об'єм природного газу зменшується у 600 разів.

Скrapлений вуглеводневий газ (СВГ) (англ. – liquefied petroleum gas або LPG) – пропан-бутанова газова суміш, яка за нормальних значень тиску і температури навколишнього середовища ($p_c = 0,101325$ МПа, $t_c = 20^\circ\text{C}$) перебуває в газоподібному стані, але за певної зміни умов: незначному збільшенні тиску і сталій температурі або незначному зниженні температури і сталому тиску переходить у рідкий стан. СВГ має широку сферу використання – у комунально-побутовому споживанні, як паливо для двигунів внутрішнього згоряння, як сировина хімічної промисловості тощо.

Хімічний склад СВГ відрізняється і залежить від джерела їх отримання. Пропан і бутан – це зріджені вуглеводневі гази, які отримують з попутних нафтових і газоконденсатних родовищ.

Основні переваги СВГ: висока теплотворна здатність; повне згоряння газової суміші; при згорянні не утворюється шкідливих речовин і домішок; можливість використання в місцях, де немає можливості використання природного газу, в т.ч. у двигунах автомобілів; використання як основного, резервного або аварійного палива.

В Україні з 02.01.2018 діє національний стандарт ДСТУ EN 589:2017 «Палива автомобільні. Газ нафтовий скrapлений. Технічні вимоги та методи контролювання», який є ідентичним EN 589:2008+A1:2012 «Automotive fuels – LPG – Requirements and test methods».

Компримований (стиснений) природний газ (КПГ або CNG) від англ. Compressed natural gas) – природний газ (метан CH_4), стиснений на компресорній станції до тиску 200-250 бар ($196\text{-}245$ кг/см²) для використання в якості палива в двигунах внутрішнього згоряння. Компримування газу проводиться на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях, куди газ поставляється від магістральних трубопроводів. КПГ використовується на легкових

автомобілях, пасажирському та легкому вантажному транспорті та комунальній техніці. Його якість повинна відповідати ДСТУ ГОСТ 27577:2005 «Газ природний паливний компримований для двигунів внутрішнього згоряння».

Метанове паливо має вище октанове число і питому теплоту згоряння ніж нафтове паливо або зріджені вуглеводневі гази і не змінює фізико-хімічні властивості при низьких температурах. Октанове число компримованого природного газу знаходиться в діапазоні 110-125 і при згорянні виробляє 48500 кДж/кг.

Моторне біопаливо – альтернативний вид палива, який отримують в результаті переробки сільськогосподарських культур із можливістю додавання домішок тваринної сировини, органічних промислових відходів і продуктів життєдіяльності.

Біодизель (біодизельне паливо) – метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент.

В якості сировини для біодизеля можна використовувати будь-яку рослинну олію – ріпак (основна сировина в Європі), соя, пальмова і кокосова олія тощо, а також риб'ячий жир або жири тваринного походження. Цетанове число біодизелю складає близько 51-55 (для порівняння, у традиційного дизельного палива воно дорівнює 45-52). Тож його можна використовувати в дизельних установках (двигунах), без їх додаткової модифікації. При цьому, висока температура спалаху (не менше 120) робить біодизель одним з найбільш пожежобезпечних видів палива.

Біодизель – екологічно чисте паливо, при його згорянні не виділяється діоксид сірки. Розлитий біодизель розкладається практично повністю. При попаданні у ґрунт або воду він не представляє небезпеки для живих організмів.

Біоетанол – спирт етиловий зневоджений, виготовлений з біомаси або спирту етилового-сирцю для використання в якості біопалива. Його прийнято відносити до біопалива першого покоління. Біоетанол – це звичайний етанол (етиловий спирт), але, на відміну від харчових спиртів, він виробляється за технологією укороченої дистиляції і не містить води. Крім того, він у великих кількостях містить метанол і сивушні масла, тому повністю непридатний для вживання людиною. Основна перевага біоетанолу перед бензином як джерела енергії – його порівняно низька вартість і відсутність шкідливих викидів в атмосферу.

Для виробництва біоетанолу використовують сільськогосподарські культури з високим вмістом цукру або крохмалю

(наприклад, цукрова тростина, цукровий буряк та кукурудза).

1.2 Поняття та класифікація систем накопичення електричної енергії

Електричний акумулятор хімічне джерело електричного струму багаторазової дії, основна специфіка якого полягає в зворотності внутрішніх хімічних процесів, що забезпечує його багаторазове циклічне використання (через заряд-розряд) для накопичення електричної енергії та автономного електроживлення різноманітних електротехнічних пристроїв та систем. Електричний акумулятор належить до категорії вторинних хімічних джерел струму [12-40].

Принцип дії акумулятора заснований на зворотності хімічної реакції. Найпоширеніші електричні (кислотні та лужні) акумулятори накопичують хімічну енергію (внаслідок зворотних хімічних реакцій між речовиною електродів та електролітом), і віддають електричну енергію, будучи гальванічними елементами. Працездатність акумулятора може бути відновлена шляхом заряду, тобто пропусканням електричного струму в напрямку, зворотному напрямку струму при розряді: на від'ємному електроді (катоді) реакція окиснення замінюється реакцією відновлення, а на позитивному електроді (аноді) реакція відновлення змінюється на реакцію окиснення [12-40].

Ємність акумулятора – це максимально можливий корисний заряд, що віддається повністю зарядженим акумулятором при розряді до найменшої допустимої напруги.

В міжнародній системі одиниць СІ ємність акумуляторів вимірюють в кулонах. На практиці використовується позасистемна одиниця Ампер-година: $1 \text{ A} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Кл}$.

Енергетична ємність – енергія, що віддається повністю зарядженим акумулятором при розряді до найменшої допустимої напруги.

В системі СІ енергетична ємність вимірюється в джоулях. На практиці використовується позасистемна одиниця Ватт-година: $1 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Дж}$.

При низьких температурах ефективність акумуляторів всіх електрохімічних систем різко знижується. Разом з тим, NiCd акумулятори можуть працювати й при -40°C , у той час як температура -20°C є межею, при якому NiMH, SLA й Li-ion акумулятори припиняють функціонувати.

Хоча акумулятор і може працювати при холодних температурах, але це зовсім не означає, що він автоматично може також бути

заряджений при тих умовах. Сприйнятливість до заряду більшості акумуляторів при дуже низьких температурах надзвичайно обмежена і струм заряду за таких умов повинен бути зменшений до $0,1^{\circ}\text{C}$.

Акумулятори широко застосовують в техніці: на автомобільному, морському, повітряному і залізничному транспорті, в радіотехніці, на телефонних і електричних станціях, електромобілях, для освітлення і сигналізації на штучних супутниках Землі, космічних апаратах тощо.

У 2016 році міжнародна енергетична компанія AES ввела в експлуатацію сховище електроенергії з батареї літій-іонних акумуляторів ємністю 20 МВт-год, під'єднане до єдиної енергосистеми Нідерландів, призначене для зберігання надлишку електроенергії від відновлюваних джерел енергії.

Акумулятор, як і будь-яке хімічне джерело струму, складається з позитивного і негативного електродів та електроліту, в який вони занурені. Різниця потенціалів, що виникають на межі стикання електродів з електролітом, утворює ЕРС акумулятора (або напругу акумулятора при розімкненому колі). Під час розряду акумулятора енергія хімічних реакцій перетворюється на електричну енергію; при зарядці, навпаки, електрична енергія перетворюється на хімічну.

Стартерна акумуляторна батарея виконана у формі системи із декількох електрохімічних комірок. Послідовно з'єднані електрохімічні комірки називають «батареєю» [38].

Акумуляторна батарея може бути виконана із декількох електрохімічних комірок, об'єднаних в одне електричне коло. Ці комірки сполучені електрично і конструктивно для отримання необхідних значень струму і напруги. Використовується, зокрема, як джерело енергії для живлення тягових електродвигунів акумуляторних електровозів. Основні параметри, які характеризують такий акумулятор, – електрорушійна сила, напруга, внутрішній опір, струм та ємність.

В акумуляторах глибокого заряду-розряду (поїздів, човнів, автотранспорту), автомобільних акумуляторах (забезпечують постійну подачу струму протягом тривалого періоду часу) енергію виробляють елементи – група свинцевих пластин покритих окисом свинцю і кислотою. Свинцеві решітки покриті окисом свинцю і кислотою називають пластинами. Поперемінно чергуючи позитивні та негативні пластини складені стопками і вставлені у футляри називають елементами.

Лужні залізонікелеві акумулятори (що застосовуються частіше) у порівнянні з кислотними свинцевими мають ряд переваг: можуть

зберігатися в розрядженому або напіврозрядженому стані, не виходять з ладу в результаті коротких замикань, мають більший строк служби. Переваги кислотних А.б.: вищий ККД, вища розрядна напруга, менший внутрішній опір. На шахтах в А.б. використовують кислотні (свинцеві) і лужні (залізонікелеві) акумулятори.

Нині одним з найбільших в Європі виробників стартерних акумуляторних батарей є Національна акумуляторна корпорація "ISTA".

Розрізняють кислотні (свинцеві) і лужні акумулятори.

Кислотні акумулятори мають високу номінальну напругу (2 В), малий внутрішній електричний опір та відносно високий коефіцієнт корисної дії (до 0.85). Проте невеликий термін служби, недостатня міцність та незадовільна робота при низьких і високих температурах обмежують їх застосування.

Лужні акумулятори мають ряд переваг перед кислотними: вони міцніші, не бояться перевантажень, добре працюють в широкому інтервалі температур, невимогливі до виробничих умов. Основні їх недоліки: низький ККД (до 60 %) і напруга (1,2; 1,25; 1,33 В) [12-40].

Таблиця 1.1 – Характеристики акумуляторів

Тип	Напруга	Щільність енергії			Потужність	ККД	Е/\$	Розряд	Кількість циклів	Тривалість використання (років)
	(В)	(МДж/кг)	(Вт·г/кг)	(Вт·г/л)	(Вт/кг)	(%)	(Вт·г/\$)	(%/міс.)		
Лужно-кислотний	2.1	0.11-0.14	30-40	60-75	180	70-92	5-8	3-4	500-800	3 (автомобільний акумулятор), 20 (стаціонарний)
VRLA	2.105									
Лужний	1.5	0.31	85	250	50	99.9	7.7	<0.3	100-1000	<5
Ni-залізо	1.2	0.18	50		100	65	5-7.3	20-40		50+
Ni-кадмій	1.2	0.14-0.22	40-60	50-150	150	70-90		20	1500	
NiH ₂	1.5		75						20000	15+
NiMH	1.2	0.11-0.29	30-80	140-300	250-1000	66	1.37	20	1000	
Ni-цинк	1.7	0.22	60	170	900		2-3.3		100-500	
Li-іонний	3.6	0.58	160	270	1800	99.9	2.8-5	5-10	1200	2-3
Тонкоплівчастий Li	-			350	959	-	-		40000	
ZnBr			75-85							
V-редокс	1.4-1.6		25-35			96			14000	10 (стаціонарний)

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

NaS	2	0.54	150			89 - 92			2500-4500	
Розплавлена сіль			70-110		150-220		4.54		3000+	8+
Супер залізо										
Срібно-цинк			130	240						
На-іонний	3.6		до 400						2000	

До VRLA або рекомбінантів належать гелеві акумулятори та абсорбційні скляні пластинки.

За складом електродів (активної маси) лужні акумулятори поділяють на:

- кадмій-нікелеві;
- залізо-нікелеві;
- цинк-нікелеві;
- срібно-цинкові.

За способом утримання електродів акумулятори поділяють на:

– ламельні (у них активна маса поміщена у ламелі. У залізо-нікелевих акумуляторах ламелями є плоскі сталеві коробочки з перфорованими стінками);

- безламельні.

Безламельні акумулятори мають підвищену ємність і менші розміри. Останнім часом почали застосовувати стартерні залізо-нікелеві акумулятори, які працюють при низьких температурах краще, ніж кислотні. Для одержання великих імпульсних струмів при низьких і високих температурах та значних змінах атмосферного тиску застосовують срібно-цинкові акумулятори.

Кадмій-нікелеві акумулятори можуть бути дуже малих розмірів – 1-3 см², їх застосовують у слухових апаратах для глухих та в напівпровідникових радіоприладах. Лужні акумулятори виробляють сухими.

Електричні та експлуатаційні характеристики акумулятора залежать від матеріалу електродів і складу електроліту.

Види акумуляування енергії [12-40]:

- зберігання викопного палива;
- механічне (пневматичний акумулятор; безтопковий паровоз; супермаховик; гравітаційна потенціальна енергія; гідроакумулятор; гідроакумулявальна електростанція);

- електричний, електромагнітний (конденсатор);

суперконденсатор; надпровідниковий магнітний акумулятор (надпровідникові магніти і надпровідні котушки (H01F6));

– біологічний (глікоген; крохмаль);

– електрохімічний (проточний акумулятор; акумуляторна батарея; UltraBattery);

– тепловий (акумулятор тепла; кріогенні системи зберігання, акумулювання енергії зрідженим повітрям (LAES); кріогенний двигун Дермана; евтектична система; акумулятор холоду; фазовий перехід речовини; сезонне зберігання теплової енергії; сонячний ставок; паровий акумулятор; зберігання теплової енергії);

– хімічний (біопаливо; гідратовані солі; зберігання водню; перекис водню; технологія Power-to-Gas (P2G); оксид ванадію(V)).

Механічне накопичення

Гідроелектрика

Гідроелектростанції з водосховищами можуть експлуатуватися для забезпечення електроенергією в періоди пікового попиту. Вода зберігається в резервуарі в періоди низької потреби і вивільняється за високої потреби. Ефект аналогічний накопиченню з перекачуванням, але без супутніх витрат. Хоча гідроелектростанція безпосередньо не накопичує енергію з інших джерел, вона поводить еквівалентно, знижуючи виробіток в період надлишку електроенергії, отриманої з інших джерел. В цьому режимі греблі є однією з найбільш ефективних форм акумулювання енергії, оскільки змінюються тільки терміни її генерування. Гідроелектричні турбіни мають час запуску порядку декількох хвилин [12-40].

Гідроакумулювальна електростанція

У всьому світі гідроакумулювальна електростанція (ГАЕС) є найбільшою формою накопичення енергії у великих масштабах. Енергетична ефективність ГАЕС варіюється, на практиці, від 70 % до 80 %.

У періоди низької потреби в електроенергії, надлишкова генерувальна потужність використовується для перекачування води з нижнього резервуара у верхній. Коли попит зростає, вода надходить назад в нижній резервуар (або водний шлях/водойму) через турбіну, що виробляє електрику. Реверсивні турбогенераторні вузли діють як насос і турбіна (зазвичай це турбіна Френсіса). Майже всі подібні споруди використовують перепад висот між двома водоймами. Насосно-накопичувальні установки «в чистому вигляді» переміщують воду між резервуарами, в той час як підхід з «відкачуванням» являє собою комбінацію насосних сховищ і звичайних гідроелектростанцій, що використовують природний плин води [12-40].

Технологія накопичення енергії стисненого повітря

Пневматичний акумулятор використовує надлишкову енергію для стиснення повітря з метою подальшого виробництва електроенергії. Стиснене повітря зберігається в підземному резервуарі.

Пневматичний акумулятор може подолати розрив між волатильністю виробництва і навантаженням. Пневматичний акумулятор задовольняє потреби споживачів в енергії, ефективно забезпечуючи доступну енергію для задоволення попиту. Поновлювані джерела енергії, такі як енергія вітру і сонця, мають змінні ресурси. Як наслідок, для задоволення попиту на енергію в періоди зниження доступності відновлюваних ресурсів необхідно додавати інші види енергії. Установки для зберігання енергії на стиснутому повітрі здатні акумулювати надлишкову енергію від відновлюваних джерел енергії під час перевиробництва енергії. Ця накопичена енергія може бути використана, коли зростає попит на електроенергію або зменшується доступність енергетичних ресурсів.

Стиснення повітря створює тепло: при стисканні повітря теплішає. Розширення, зі свого боку вимагає теплової енергії. Якщо не додавати енергії, повітря після розширення буде набагато холоднішим. Якщо тепло, що виділяється під час стиснення, може акумулюватися і використовуватися під час розширення, ефективність значно підвищується [12-40].

Технологія накопичення енергії маховиком

Накопичувач енергії маховика (FES) працює за рахунок прискорення ротора (маховика) до дуже високої швидкості, акумулюючи енергію обертання. Коли енергія споживається, швидкість обертання маховика зменшується; додавання енергії відповідно призводить до збільшення швидкості маховика.

Акумулювання тепла здійснюється шляхом нагрівання матеріалу для накопичення енергії.

Більшість систем FES використовують електрику для прискорення й уповільнення маховика, але розглядаються і пристрої, які безпосередньо використовують механічну енергію.

Системи FES мають ротори, виготовлені з високоміцних вуглецево-волокнистих композитів, підвішених на магнітних підшипниках, які обертаються з частотою від 20000 до більше ніж 50000 об/хв у вакуумному корпусі. Такі маховики можуть досягати максимальної швидкості («заряду») за лічені хвилини. Система маховика з'єднана з комбінованим електродвигуном/генератором.

Системи FES мають відносно довгий термін служби (десятиліття, практично не вимагаючи технічного обслуговування; термін служби

повного циклу, вказаний для маховиків, варіюється від 10^5 до 10^7 циклів використання), високу питому енергію (100-130 Вт·год/кг або 360-500 кДж/кг) і питома потужність.

Накопичення гравітаційної потенціальної енергії твердих мас

Зміна висоти твердих мас може накопичувати або виділяти енергію через підймальну систему, що приводиться в рух електродвигуном/генератором.

Методи включають використання рейок і кранів для переміщення бетонних вантажів угору і вниз, використання висотних плавучих платформ на сонячних батареях, що підтримують лебідки для підймання і опускання твердих мас.

Накопичення теплової енергії

Акумулювання теплової енергії – це тимчасове зберігання або відведення тепла.

Акумульована тепла енергія

Технології сезонного накопичення теплової енергії – дозволяють використовувати тепло або холод через місяці після того, як воно було отримане з природних джерел або відходів. Акумуляція може відбуватися у водоносних шарах, скупченнях свердловин в геологічних субстратах, таких як пісок або кристалічні породи, в вистелених ямах, заповнених гравієм і водою, або в заповнених водою шахтах. Технології СНТЕ часто мають термін окупності в діапазоні від чотирьох до шести років. Прикладом є спільнота сонячних батарей Drake Landing в Канаді, для якої 97 % цілорічного тепла забезпечується сонячно-тепловими колекторами на дахах гаражів, а свердловинний накопичувач теплової енергії (СНТЕ) є підтримувальною технологією. У Бредструпі (Данія) система комунального сонячного теплопостачання, також використовує СНТЕ за температури зберігання $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($149\text{ }^{\circ}\text{F}$). Тепловий насос, який працює тільки за наявності надлишкової енергії вітру в єдиній енергомережі, використовується для підвищення температури до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($176\text{ }^{\circ}\text{F}$) для постачання. Коли надлишкової електрики, що генерується вітром, немає, використовується газовий котел. 20 % відсотків тепла у Бредструпі мають сонячне походження.

Акумуляторна батарея містить один або кілька електрохімічних елементів. Акумулятори бувають різних форм і розмірів, від кнопок до мегаватних енергосистем [12-40].

Приховане накопичення теплової енергії

Приховані системи накопичення теплової енергії працюють з матеріалами з високою прихованою теплоємністю, відомими як матеріали з фазовим переходом (PCM). Основною перевагою цих

матеріалів є те, що їх прихована теплоємність набагато більша, ніж відчутне тепло. У певному температурному діапазоні фазовий перехід від твердого до рідкого поглинає велику кількість теплової енергії для подальшого використання.

Приховане накопичення теплової енергії являє собою процес, за допомогою якого енергія у формі тепла або поглинається, або виділяється під час фазового переходу матеріалу. Під час фазового переходу речовина має здатність поглинати велику кількість енергії через високу теплоту плавлення [12-40].

Електрохімічний

Акумуляторна батарея

Акумуляторні батареї мають нижчі загальну вартість використання і рівень впливу на навколишнє середовище, ніж неперезаряджувані (одноразові) батареї. Акумуляторні батареї деяких типів доступні в тих самих форматах, що й одноразові. Акумуляторні мають вищу початкову вартість, але їх можна дуже дешево перезаряджати і використовувати багато разів.

Загальний хімічний склад акумуляторних батарей [20-50]:

– Проточна батарея працює, пропускаючи розчин через мембрану, де відбувається обмін іонів для заряджання/розряджання елемента. Напряга струму хімічно визначена рівнянням Нернста, і на практиці становить від 1,0 до 2,2 В. Ємність накопичувача залежить від об'єму ємностей, в яких знаходиться розчин.

– Свинцево-кислотні акумулятори: свинцево-кислотні акумулятори займають найбільшу частку ринку акумуляторів. У зарядженому стані від'ємний електрод з металевого свинцю і додатний електрод з сульфату свинцю занурюють в електроліт з розведеної сульфатної кислоти (H_2SO_4). В процесі розряду електрони виштовхуються з комірки, оскільки на від'ємному електроді утворюється сульфат свинцю, а електроліт відновлюється до води.

– Технологія свинцево-кислотних акумуляторів широко розвинулась. Експлуатація вимагає невеликих затрат праці, вартість низька. Доступна енергетична ємність батареї схильна до швидкого розряджання, що призводить до малого терміну служби і низької щільності енергії.

– Нікель-кадмієва батарея (NiCd): як електроди використовуються гідрат оксиду нікелю і металевий кадмій. Кадмій є токсичним елементом й у 2004 році був заборонений Європейським союзом для більшості видів використання. Нікель-кадмієві батареї були майже повністю замінені нікель-металогідридними (NiMH).

– Нікель-металогідридна батарея (NiMH): перші комерційні

зразки з'явилися в 1989 році. Зараз це звичайний споживчий і промисловий товар. Замість кадмію в ній для від'ємного електрода використано воднепоглинальний сплав.

– Літій-іонна акумуляторна батарея: вибір багатьох споживачів у сфері електронних пристроїв. Має одне з кращих співвідношень енергії до маси і дуже повільний саморозряд, коли не використовується.

– Літій-іонний полімерний акумулятор: ці акумулятори мають малу вагу і можуть бути виготовлені будь-якої форми.

Суперконденсатор

Суперконденсатори, також називають електричними двошаровими конденсаторами або ультраконденсаторами, є загальною назвою для сімейства електрохімічних конденсаторів, які не мають звичайних твердих діелектриків. Ємність визначається двома параметрами акумуляції: двошарова ємність і псевдоємність.

Суперконденсатори підтримують широкий спектр застосувань, зокрема: суперконденсатори ліквідують розрив між звичайними конденсаторами і акумуляторними батареями. Вони зберігають найбільшу кількість енергії на одиницю об'єму або маси (густина енергії) серед конденсаторів. Ємність досягає 10000 фарад/1,2 В, до 10 000 разів більше, ніж в електролітичних конденсаторів, але видають або приймають менше половини потужності за одиницю часу (густина потужності).

У той час, як суперконденсатори мають питому енергію і питому густину енергії приблизно 10 % у порівнянні з батареями, їх щільність потужності зазвичай в 10-100 разів більша. Це призводить до значно коротших циклів заряджання/розряджання. Крім того, вони витримують значно більше циклів заряджання і розряджання, ніж батареї.

Інші хімічні речовини

Технологія Power-to-Gas (P2G)

Технологія Power-to-Gas – це технологія, у якій за рахунок електричної енергії отримують газоподібне паливо, наприклад, водень або метан. Відомі три методи використання електрики для перетворення води на водень і кисень за допомогою електролізу.

Мають низький струм живлення для резервного копіювання пам'яті в статичній оперативній пам'яті. Може бути застосовано для живлення для автомобілів, автобусів, поїздів, кранів і ліфтів, зокрема рекуперация енергії при гальмуванні, короткочасне накопичення енергії і подача живлення в імпульсному режимі [20-50].

При першому методі водень впорскується в мережу природного газу. Другий метод полягає в реакції водню з діоксидом вуглецю для

отримання метану, з використанням реакції метанування (такий, як реакція Сабатьє) або біологічного метанування, що призводить до додаткової втрати перетворення енергії на 8 %. Потім метан можна подавати в газову мережу. Третій метод використовує вихідний газ з генератора деревного газу або біогазової установки після того, як модифікатор біогазу змішаний з воднем з електролізера, щоб поліпшити якість біогазу.

Водень

Водень теж можна розглядати як накопичувач енергії: електрика в цьому випадку отримується за допомогою водневого паливного елемента.

Підземне зберігання водню здійснюється в підземних печерах, соляних куполах і виснажених нафтових і газових родовищах. Imperial Chemical Industries протягом багатьох років зберігає в підземних печерах великі кількості газоподібного водню без жодних проблем. Європейський проект Hyunder вказав у 2013 році, що для акумуляції енергії вітру і сонця з використанням підземного водню потребує 85 печер.

Для синтезу кілограма водню потрібно близько 50 кВт·год (180 МДж) сонячної енергії, тому вартість електроенергії є критично важливою.

Метан

Метан – найпростіший вуглеводень з молекулярної формулою CH_4 . Метан легше зберігати і транспортувати, ніж водень. Є повноцінна інфраструктура його зберігання і спалювання (трубопроводи, газометри, електростанції).

Синтетичний природний газ (синтез-газ або SNG) може бути створений у багатоступінчастому процесі, починаючи з водню і кисню. Водень реагує з діоксидом вуглецю в реакції Сабатьє, виробляючи метан і воду. Метан може зберігатися, а потім використовуватися для виробництва електроенергії. Отримана вода рециркулює, зменшуючи потребу в зовнішніх її джерелах. На стадії електролізу, кисень зберігається для спалювання метану в чистому кисневому середовищі на сусідній електростанції.

Під час згоряння метану утворюються вуглекислий газ (CO_2) і вода. Вуглекислий газ може бути повторно використаний для процесу Сабатьє, а вода може бути використана для подальшого електролізу.

Біопаливо

Викопне паливо можуть замінювати різні види біопалива, такі як біодизельне паливо, рослинна олія, спиртове паливо або біомаса. Хімічні процеси дозволяють перетворювати вуглець і водень (в складі

вугілля, природного газу, рослинної і тваринної біомаси та органічних відходів) на прості вуглеводні, придатні для заміни традиційних вуглеводневих видів палива. Прикладами є дизельне паливо Фішера-Тропша, метанол, диметиловий ефір і синтез-газ. Це джерело дизельного палива широко використовувалося під час Другої світової війни в Німеччині, яка зіткнулася з обмеженим доступом до постачань сирової нафти. З тих же причин Південна Африка виробляє більшу частину дизельного палива з вугілля.

Алюміній

Низкою дослідників як енергонакопичувач був запропонований алюміній. Електрохімічний еквівалент алюмінію майже в чотири рази більший, ніж у літію. Енергія може вилучатись з алюмінію шляхом його взаємодії з водою з утворенням водню. Однак для реакції з водою алюміній повинен бути відділений від його природного оксидного шару. Це процес, який вимагає подрібнення, а також хімічних реакцій з їдкими речовинами або сплавами. Побічним продуктом реакції з утворенням водню є оксид алюмінію, який може бути перероблений назад в алюміній у рамках процесу Голла-Герулта, роблячи реакцію теоретично відновлюваною. Якщо процес Голла-Герулта запускається з використанням сонячної або вітрової енергії, алюміній може використовуватися для зберігання енергії, причому у такого процесу ефективність вища, ніж у прямого сонячного електролізу.

Інші хімічні речовини

Органічна сполука норборнадієн у реакції перетворення на квадрициклан під дією світла, зберігає сонячну енергію у формі енергії хімічних зв'язків. Діючий зразок був розроблений у Швеції і позиціонується як молекулярна сонячна теплова система.

Конденсатор

Конденсатор – це пасивний двополюсний електричний компонент, який використовується для електростатичного накопичення енергії. На практиці конденсатори сильно розрізняються, але всі вони містять, щонайменше, два електричних провідники (обкладки), розділені діелектриком (ізолятором). Конденсатор може зберігати електричну енергію, коли він відключений від зарядного кола, тому його можна використовувати як тимчасову батарею або як інші види перезаряджуваних систем накопичення енергії. Конденсатори зазвичай використовуються в електронних пристроях для підтримки живлення під час заміни батарей (це запобігає втраті інформації в енергозалежній пам'яті). В середньому конденсатори мають густину енергії менше 360 Дж/кг, у той час як у звичайної лужної батареї цей параметр становить близько 590 кДж/кг.

Конденсатори накопичують енергію в електростатичному полі між обкладками. Завдяки різниці потенціалів на провідниках (наприклад, коли конденсатор приєднано до батареї), електричне поле проходить через діелектрик, змушуючи додатний заряд (+Q) збиратися на одній обкладці і від'ємний (-Q) – на іншій. Якщо акумулятор підключений до конденсатора протягом достатнього часу, через конденсатор не може протікати струм. Однак якщо на виводи конденсатора подається напруга, може виникати струм зміщення [20-50].

На практиці діелектрик між пластинами пропускає невеликий струм у вигляді витоку і має межу напруженості електричного поля, відому як напруга пробою. Однак ефект відновлення діелектрика після пробою високою напругою може привести до створення нового покоління самовідновлюваних конденсаторів.

Надпровідні індуктивні накопичувачі

Надпровідний індуктивний накопичувач (НПН) зберігає енергію в магнітному полі, створюваному потоком постійного струму в надпровідній котушці, яка була охолоджена до температури нижче її критичної температури надпровідності. Типова система НПН включає надпровідну котушку, систему кондиціонування та холодильник. Як тільки надпровідна котушка заряджена, струм не розпадається, і магнітна енергія може зберігатися нескінченно довго.

Накопичена енергія може бути передана в мережу шляхом розрядження котушки. Відповідний інвертор/випрямляч забезпечує приблизно 2-3 % втрат енергії в кожному напрямку. НПН втрачає найменшу кількість електроенергії у процесі накопичення енергії, порівняно з іншими методами зберігання енергії.

Через енергетичні вимоги охолодження і вартість надпровідного проводу, НПН використовується для короткочасного зберігання, наприклад, для поліпшення якості електроенергії. Ця система зберігання застосовується так само в балансуванні мережі [20-50].

Застосування надпровідних індуктивних накопичувачів

Деякі виробники виробляють акумуляторні батареї для зберігання енергії, як правило, для утримання надлишкової енергії розосередженої генерації. Сьогодні для зберігання енергії в домашніх умовах літій-іонні акумулятори кращі від свинцево-кислотних, враховуючи їх аналогічну вартість, але значно вищу продуктивність.

Tesla Motors випускає дві моделі літій-іонних акумуляторів Tesla Powerwall. Одна з них являє собою версію на 10 кВт·год з тижневим циклом, а інша – на 7 кВт·год з щоденним циклом. У 2016 році обмежена версія, Telsa Powerpack 2, коштувала 398 доларів

США/кВт·год для зберігання електроенергії, вартістю 12,5 цента/кВт·год (середня ціна на енергосистему США), що позитивно позначалося на рентабельності інвестицій, якщо ціни на електроенергію не перевищували 30 центів/кВт·год [20-50].

Компанія Enphase Energy анонсувала інтегровану систему, яка дозволяє домашнім користувачам зберігати, контролювати і керувати електроенергією. Система зберігає 1,2 кВт·год енергії і забезпечує 275 Вт/500 Вт вихідної потужності.

Акумуляція енергії вітру або сонця з використанням накопичувача теплової енергії, хоча і менш гнучка, але значно дешевша, ніж батареї. Простий 52-галонний електричний водонагрівач може зберігати приблизно 12 кВт·год енергії для додавання гарячої води або опалення приміщення.

Накопичення відновлюваної енергії

Найбільший запас відновлюваної енергії надається зараз гідроелектростанціями. Велике водосховище поблизу гідроелектростанції може зберігати достатньо води, щоб усереднити річний стік річки між сухим і вологим сезонами. Хоча гідроелектростанція не накопичує безпосередньо енергію від переривчастих джерел, вона врівноважує енергосистему, утримуючи воду, коли енергія генерується сонячним випромінюванням або вітром [20-50].

Важливий напрямок накопичення енергії – гідроакумуляційні електростанції. Такі регіони, як Норвегія, Уельс, Японія і США експлуатують географічні особливості, використовуючи електричні насоси для заповнення резервуарів. За потреби вода проходить через генератори і перетворює гравітаційний потенціал води, що падає, на лопаті турбіни.

Серед видів енергонакопичувачів, які використовуються при виробництві електроенергії, слід зазначити гідроелектростанції з насосним накопичувачем, акумуляторні батареї, теплові енергонакопичувачі (зокрема, розплавлені солі), які можуть ефективно зберігати і вивільняти значну кількість теплової енергії, і сховища енергії на стисненому повітрі, маховики, криогенні системи і надпровідні магнітні котушки.

Надлишкова потужність також може бути перетворена на метан (реакція Сабатьє) з нагриманням у мережі природного газу.

У 2011 році Адміністрація енергетики Бонневілья (північний захід США) розробила експериментальну програму з поглинання надмірної вітрової і гідроенергії, що генерується вночі або під час штормових періодів, що супроводжуються сильними вітрами. За

наявності центрального управління побутові прилади поглинають надлишкову енергію, нагріваючи керамічну цеглу в спеціальних обігрівачах до сотень градусів і підвищують температуру в резервуарах з підігрівом гарячої води. Після заряджання прилади забезпечують опалення будинку та подачу гарячої води в міру потреби. Експериментальна система була створена з урахуванням наслідків сильного шторму 2010 року, який довів ситуацію до перевиробництва відновлюваної енергії в такій мірі, що всі звичайні джерела енергії були закриті, або в разі АЕС – скорочені до мінімально можливого робочого рівня, залишаючи велику область майже повністю на поновлюваних джерелах енергії.

Ще один передовий метод, який використовувався в колишньому проєкті Solar Two в Сполучених Штатах і Solar Tres Power Tower в Іспанії, використовує розплавлену сіль для зберігання теплової енергії, яка отримується від Сонця, а потім перетворює її і віддає у вигляді електричної енергії. Система перекачує розплавлену сіль через вежу або інші спеціальні трубопроводи, які нагріваються сонцем. Ізольовані резервуари зберігають розчин. Електрика виробляється шляхом перетворення води на пару, яка подається в турбіни.

З появою і застосуванням рекуперації (повернення виробленої електроенергії в мережу) потреба в енергоакумуляторах відпала або втрачає свою актуальність.

Ефект пам'яті акумулятора – наразі під ефектом пам'яті розуміється зворотна втрата ємності, що має місце в деяких типах електричних акумуляторів при порушенні рекомендованого режиму зарядки, зокрема, при зарядці не повністю розрядженого акумулятора. Назва пов'язана з зовнішнім проявом ефекту: акумулятор начебто «пам'ятає», що в попередні цикли роботи його ємність не була використана повністю, і при розряді віддає тільки до «запам'ятованої межі» [20-50].

Причиною прояву ефекту пам'яті є укрупнення кристалічних утворень активної речовини акумулятора і, як наслідок, зменшення площі активної поверхні його робочої речовини. Чим дрібніше кристалічні утворення активної речовини акумулятора, тим більше площа поверхні кристалічних утворень, а, отже, і максимальна кількість енергії, що запасється акумулятором, відповідно, при укрупненні кристалічних утворень в процесі експлуатації – площа їх поверхні зменшується, при цьому зменшується максимальний струм розряду і збільшується внутрішній опір елемента. Великі й гострі кристали також значно зменшують відстань між електродами, що призводить до більшого саморозряду елемента. Такі кристали можуть також

проткнути сепаратор, що призведе до незворотного пошкодження гальванічного елемента.

Впливу ефекту пам'яті схильні NiCd-акумулятори і, меншою мірою, NiMH-акумулятори.

Уникнути ефекту пам'яті можна, якщо дотримуватися режиму використання акумулятора: доводити акумулятор до майже повної розрядки і тільки після цього його заряджати знову. Бажано також не перевищує рекомендовані заводом-виробником режими заряду і розряду.

Певною мірою дія ефекту пам'яті зворотна: «тренування» акумулятора, тобто, кілька циклів заряду до максимально можливої ємності і подальшого повного розряду може призводити до відновлення максимальної ємності до вихідного або близького до нього рівня. Дуже гарні результати показує метод заряду акумуляторів змінним асиметричним струмом.

Деякі сучасні зарядні пристрої мають функцію «дорозряда» акумуляторів перед зарядкою. При її активізації акумулятор перед зарядкою підключається до навантаження і розсіює на ній залишок заряду. Блок зарядки включається тільки після того, як буде зафіксовано різке падіння струму через навантаження, яке свідчить про повну розрядку.

Цей список групується за типами батарей.

Таблиця 1.2 – Групування за типами батарей

Первинні батареї	Вторинні батареї
Вугільно-цинкова батарея або сольова марганцево-цинкова батарея Zinc-carbon battery	Свинцево-кислотні акумулятори Lead-acid battery – Гелеві акумулятори – VRLA-батареї – Батареї глибокого заряду-розряду
Хлор-цинкова батарея Zinc chloride battery	Акумуляторні лужні батареї Rechargeable alkaline battery
Лужна марганцево-цинкова батарея або лужна батарея Alkaline battery	Нікель-кадмієві акумуляторні батареї Nickel-cadmium battery
Ртутна батарея Mercury battery – Ртутно-цинкова батарея – Ртутно-індієва батарея – Ртутно-титанова батарея – Цинк-двооксисульфатно-ртутна суха батарея	Нікель-метал-гідридні акумулятори Nickel metal hydride battery
Срібно-цинкові батареї Silver-oxide battery	Срібно-цинкові акумулятори

<ul style="list-style-type: none"> – Літієва батарея Lithium battery у тому числі: – Літій-тіонілхлорид (LiSOCl_2) – Літій-п'ятиокис ванадію (LiV_2O_5) – Літій-двоокис сірки (LiSO_2) – Літій-трьохокис молібдену (LiMoO_3) – Літій-фторид міді (CuF_2) – Літій-хромат срібла ($\text{LiAg}_2\text{CrO}_4$) – Літій-сульфід міді (LiCuS) 	Літій-іонний акумулятор
Цинк-повітряна батарея Zinc-air batteries	Літій-полімерний акумулятор
Комірки Кларка Clark cell	Залізо-нікелевий акумулятор
Комірка Бунзена Bunsen cell	Натрієво-сірчаний акумулятор
Комірки Данієля Daniell cell	
Комірки Гальвані Galvanic cell	
Комірки Лекланше Leclanché cell	
Комірки Вестона Weston cell	
Вольтів стовп Voltaic pile	
Високотемпературні резервні термічно-активовувані батареї	
Водо-активовувані батареї Water-activated battery	
Аміачні резервні батареї	
Картопляна батарея Potato battery	
Лимонна батарея Lemon battery	
Атомна батарея Atomic battery Ядерна мікро-батарея або радіонуклідна мікро-батарея Nuclear micro-battery	
Батареї щодо застосування	
Резервний акумулятор	
Водо-активовувані батареї	
Стартерний автомобільний акумулятор	
Акумулятор електричного транспортного засобу	

Наведені в цій таблиці елементи живлення є складовими гальванічних елементів або акумуляторів, і мають номінальну напругу залежно від електрохімічних параметрів активних компонентів:

– 1,55 В для срібно-цинкових елементів;

- 1,5 В для марганцево-цинкових елементів;
- 1,4 В для повітряно-цинкових елементів;
- 1,2 В для нікель-кадмієвих і нікель-метал-гідридних елементів.

Циліндричні елементи

Найбільш поширені циліндричні елементи живлення. Позитивним електродом є виступ на основі циліндра, його діаметр становить близько третини діаметра самого елемента, негативним електродом є плоский або рельєфний контакт на протилежній основі. Батареї цих типів зазвичай поміщені в пластмасовий або металевий корпус, ізольований від циліндричного електрода батареї (негативного у сольових елементів і позитивного – у лужних) для запобігання короткого замикання, а також для захисту його від корозії.

Таблиця 1.3 – Позначення акумуляторів

Вид	Позначення	Типова ємність, мА·год	Діаметр x довжина, мм	Примітка
Сольова	A		17 x 50	
Лужна				
Сольова	AA	1100	14,5 x 50,5	Елементи такого типорозміру виробляють з 1907 року і є найбільше поширеними
Лужна		2700-3000		
(Li-FeS ₂)		3000-3500		
(Ni-MH)		1700-2900		
(NiCd)		600-1000		
(Ni-Zn)		1800-2000		
Сольова		AAA		
Лужна	1000-1100			
(Li-FeS ₂)	1100-1300			
Ni-MH	800-1000			
(Ni-Zn)	650-750			
Лужна	AAAA	625	8,3 x 42,5	Лужні 9-вольтові батареї звичайно складаються з 6 елементів AAAA. Окремі елементи застосовуються в малогабаритних електроприладах

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Лужна	B	8350	21,5 x 60	Входять до складу батареї 3336, окремо практично не використовуються
Сольова	C	3800	26,2 x 50	
Лужна		8000		
(NiMH)		4500-6000		
Сольова	D	8000	34,2 x 61,5	Виробляються з 1898 року, розроблені для електричних ліхтариків, використовуються в електроприладах зі значним споживанням енергії
Лужна		19500		
(NiMH)		9000-11500		
Сольова	F		33 x 91	
Лужна				
Лужна	N	1000	12 x 30,2	Використовуються в лазерних указках, безпроводних дверних дзвінках та мікрофонах
Сольова	1/2AA	250	14,5 x 25	
Сольова		500	14,5 x 38	
Сольова	R10	1800	21,5 x 37,3	Використовувалась у вимірювальних приладах та дитячих іграшках

Мініатюрні елементи

Мініатюрні елементи живлення (так звані «монетки», «гудзики», «годинникові батарейки») застосовуються в малогабаритних пристроях, таких, як наручні годинники, калькулятори, світлодіодні ліхтарики, лазерні указки та т.п. Вони являють собою циліндр, висота якого менше діаметра. Позитивним електродом в них є корпус елемента, а негативним – круглий контакт на одній з основ, діаметром трохи менше діаметра самого елемента. Такі елементи необхідно берегти від маленьких дітей, оскільки вони можуть легко їх

проковтнути, що може привести до отруєння і електричних опіків травного тракту [20-50].

Срібно-цинкові елементи

Срібно-цинкові батареї мають багато переваг в порівнянні з марганцево-цинковими: більш висока напруга, яке стабільно тримається до кінця розряду, низький внутрішній опір і т.д., проте через дорожнечу випускаються в основному у вигляді мініатюрних елементів. У таблиці представлені два різновиди срібно-цинкових елементів:

- LD – для електроприладів з низьким і рівномірним енергоспоживанням;
- HD – для електроприладів з високим і нерівномірним енергоспоживанням.

1.3 Класифікація і стисла характеристика паливних елементів

Існують різні класифікації ПЕ: за вихідними речовинами електродних реакцій (водень-кисневі, метано-кисневі та ін.), за видом перетворення вуглеводневого палива (внутрішня чи зовнішня конверсія), за значенням робочої температури (низько-, середньо- та високотемпературні), за складом електроліту (лужні, кислотні, полімерні, твердооксидні, з розтопленим електролітом), типом палива і окиснювача. Найбільш вдалою з точки зору авторів є класифікація ПЕ за складом електроліту, оскільки вона визначає і робочу температуру, і йонний характер електродних реакцій, і вид перетворення палива [25, 26].

За типом окиснювача ПЕ умовно поділяють на кисневі та повітряні (в останньому випадку в якості окиснювача використовують кисень повітря). За типом палива виділяють водневі, метанольні і ПЕ на природному газі, хоча останні з "хімічного" погляду слід віднести до "водневих", тому що природний газ попередньо піддається конверсії. За температурою експлуатації їх умовно ділять на низькотемпературні (до 100–150°C), середньотемпературні (близько 200-400°C) і високотемпературні (більше 500°C).

На сьогодні відомо декілька видів ПЕ, що розрізняються за типом використаного електроліту і палива. Виходячи з аналізу становлення ПЕ, найбільшого поширення набули наступні типи (таблиця 1.4):

Таблиця 1.4 – Типи паливних елементів

Технологія ПЕ	Тип електроліту – тип палива	Робочі температури, °С	ККД вихідної електричної енергії, %	Стан технології. Сумарний ККД, %
ПЕ з протонообмінною мембраною PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Proton Exchange Membrane Fuel Cell)	Полімерна мембрана водень	60÷160	30÷35	Найбільш активно ведуться розробки в сегменті автомобілебудування. Найбільш потужна установка – 300 кВт. Гарні перспективи портативних установок. 50÷70
ПЕ з прямим окисненням метанолу DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)	Полімерна мембрана – метанол	50÷120	до 40	Ще недавно розробки в цьому напрямку вважалися найбільш перспективними для ринку портативної електроніки. Зараз акцент зміщений у бік DBFC.
Лужні ПЕ AFC (Alkaline Fuel Cell), DBFC (Direct borohydride fuel cells)	Гідроксид калію – водень (борогідрид натрію)	25÷250	до 50÷60	Основне застосування в космічній галузі, гарні комерційні перспективи у зв'язку з дешевизною систем
ПЕ на основі ортофосфорної (фосфорної) кислоти PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	Фосфорна кислота – водень	150÷220	35÷45	Найбільш "зріла" технологія. Промислове застосування у великих установках. У даний час найбільший парк ПЕ побудований на основі технології PAFC. 70÷85

Твердотільні оксидні паливні елементи SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)	Керамічний елемент – водень, природний газ, метанол, етанол та ін.	650÷1000	50÷60	Проекти для електро- і тепlopостачання приміщень. 60÷70
Паливні елементи на основі розплавленого карбонату MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells)	Карбонати літію і натрію – природний газ, біогаз, синтетичний газ, метан, пропан	600÷700	45÷60	Лідер сегменту великих промислових установок. 70÷80

Паливні елементи з протонообмінною мембраною (PEMFC – Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Proton Exchange Membrane Fuel Cell)

У якості електроліту в таких паливних елементах (далі ПЕ) використовується полімерна мембрана. Відновником виступає чистий водень. Розробка цього типу ПЕ була розпочата компанією General Electric ще в кінці 50-х років минулого століття, і однією з основних проблем стало створення хімічно стійкої протонообмінної мембрани з низьким питомим опором і високою механічною міцністю.

Протонпровідні мембрани – це полімери з іоногенними (дисоціюють на іони) групами, що утворюють водонерозчинні іонообмінні мембрани за рахунок просторової зшивки полімерних ланцюгів. При контакті з водою мембрана набухає і відбувається дисоціація іоногенних груп, у результаті чого іони водню отримують можливість переміщуватися між фіксованими в полімері кислотними, зокрема, сульфогрупами. В даний час у ПЕ застосовуються фторовані та перфторовані протонпровідні мембрани, які мають відносно низький опір, високої механічну міцність і хімічну стійкість. Хоча така мембрана тонка (близько 120 мкм), вона має низьку газопроникність і знижує ймовірність змішування вибухонебезпечних реагентів у порівнянні з лужними ПЕ. В якості електрокаталізаторів використовують платинову чернь на вуглецевому носії та інші метали платинової групи. Електричний контакт, підведення газів реагентів і відведення води, що утворюється, здійснюються за рахунок щільного притиснення пористих колекторів струму з вуглеграфітових тканин або паперу. Оскільки мембрани і каталізатори не взаємодіють з CO, в якості окиснювача може бути використане атмосферне повітря. Екологічна чистота, висока питома потужність і низька інерційність роблять ці ПЕ досить

перспективними для використання не тільки в космосі та підводному флоті, а й у побуті, в першу чергу, для транспортних засобів. У даний час в Канаді створені і проходять випробування екологічно чисті автобуси на ПЕ цього типу потужністю до 250 кВт та ККД енергоустановки до 55%. Низькі робочі температури і високий ККД роблять ці ПЕ перспективними для децентралізованого енергопостачання, зокрема для енергоустановок на основі відновлюваних джерел енергії (фотобатареї, вітроенергоустановки тощо), для отримання електроенергії з природного газу з попередньою конверсією. Великий інтерес становить створення оборотного пристрою електролізера-паливного елемента, де твердополімерні системи також є вельми перспективними [27].

Подальший розвиток ПЕ цього типу багато в чому пов'язаний зі зниженням вартості ПЕ і витрат платини, які до теперішнього часу в реальних установках вже знижено до 0,6 мг/см у порівнянні приблизно з 10 мг/см на початку 60-х років. Тобто витрата платини стала меншою (1 г/кВт) і продовжує знижуватися. Певною проблемою твердополімерних (як і лужних) ПЕ є чутливість електрокаталізаторів до оксиду вуглецю, присутнього в конверсійному водні. Однак прогрес у технології отримання водню, поряд із розробкою каталізаторів, вже зараз дозволяє працювати при вмісті CO менше 0,1%, що дає надію на успішне вирішення цієї проблеми. Серед усіх паливних елементів PEMFC знайшли сьогодні найбільше застосування: вони використовуються в транспортних засобах (майже 100% всіх автомобілів, що працюють на водні), у портативній електроніці.

Паливні елементи з прямим окисненням метанолу (DMFC – Direct Methanol Fuel Cell).

ПЕ цього класу є одним із варіантів реалізації елементів з іонообмінною мембраною. У них використовується той же електроліт, що і в найбільш поширених PEMFC, але як паливо використовується водний розчин метанолу, а не водень у чистому вигляді. Безумовна перевага DMFC в порівнянні з PEMFC – можливість використання метанолу в рідкому вигляді, який більш зручно зберігати і перевозити, ніж водень. На відміну від інших технологій, у яких використовується рідина замість газу, в DMFC немає необхідності в застосуванні зовнішнього конвертора для отримання чистого водню та здійснення процесу "реформінгу" – виділення водню з метанолу відбувається безпосередньо на електроліті.

Недоліком DMFC в порівнянні з PEMFC є більш висока температура функціонування (120°C), яка, однак, не є достатньою для ефективного хімічного перетворення. У зв'язку з цим виникає

необхідність у використанні дорогих каталізаторів на основі платини, що неминуче призводить до збільшення вартості ПЕ. Крім того, метанол отруйний і токсичний [28].

Лужні паливні елементи (AFC – Alkaline Fuel Cell; DBFC – Direct borohydride fuel cells).

У якості електроліту в лужних елементах використовується концентрований гідроксид калію або його водний розчин. Матеріалом для виготовлення електродів слугує нікель. Лужні елементи значно поступаються PEMFC за питомою потужністю, внаслідок чого їх габарити значно більші. У AFC в якості палива повинен використовуватися чистий водень, як окисник – чистий кисень. У цьому і полягає їх основний недолік, оскільки вміст у паливі або окиснювачі домішок вуглекислого газу призводить до карбонізації лугу. Лужні ПЕ інтенсивно розроблялися в рамках космічних програм і донині є основними у цій області. У США лужні ПЕ успішно використовувалися для програм Apollo і Space Shuttle, як, наприклад, розроблена в 1979 р. установка потужністю до 36 кВт, що пройшла випробування в багатьох польотах.

Недоліками цих ПЕ є: необхідність застосування великої кількості благородних металів для активації електродів; висока чутливість каталізаторів до каталітичних отрут; певна нестійкість електроліту, зокрема, неможливість застосування повітря в якості окиснювача (через реакцію лугу з діоксидом вуглецю) і вимивання водою, що утворюється, лугу з азбестової матриці; невисокий ресурс (для установки "Фотон" він склав 5000 годин) і загальна висока вартість. Це робить недоцільним їх застосування в енергетиці. Однак накопичений досвід стимулював розробку транспортних засобів на лужних ПЕ. Але подальшого розвитку ці роботи не отримали. Перевагами AFC є низька собівартість їх виробництва, можливість використання більш дешевих нікелевих і срібних каталізаторів, а також абсолютна екологічна чистота гарячої води, одержуваної в якості відходів. До останнього часу технологія прямого окиснення метанолу вважалася найбільш перспективною для живлення портативної мікроелектроніки. Однак наявні в сегменті DMFC проблеми (токсичність метанолу і висока вартість каталізаторів) стимулювали розвиток досліджень у галузі технології AFC.

Паливні елементи з прямим окисненням борогідриду натрію (DBFC – Direct borohydride fuel cells)

У порівнянні з метанолом, борогідрид натрію і тетраборат натрію менш токсичні, борогідрид має велику густину енергії. Крім того, його використання дозволяє скоротити витрати на каталізatori з

благородних металів [29].

Паливні елементи на основі ортофосфорної (фосфорної) кислоти (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell)

В цих ПЕ у якості електроліту використовується рідка фосфорна кислота. Підвищення температури ПЕ всього до 200-300°C забезпечує вирішення кількох задач: зменшується перенапруга реакцій на електродах, зменшується кількість каталізаторів на основі благородних металів та їх чутливість до отрути, полегшується процес видалення води та ін. На жаль, твердополімерні ПЕ (PEMFC) не можуть поки що працювати при температурах більше 100-120°C через деструкцію мембран та інших елементів ПЕ. У принципі для збільшення температури можна використовувати концентровані розчини різних неорганічних кислот, але при температурі вище 100-120°C більшість таких розчинів нестійкі або мають дуже високу окиснювальну чи корозійну активність, тому в середньотемпературних ПЕ з фосфорнокислим електролітом температура складає близько 200°C. Електродами у фосфорнокислих ПЕ слугують вуглеграфітові пластини з платиновим каталізатором. Електроліт знаходиться в пористій термостійкій матриці, наприклад, з карбиду кремнію і тефлону. В даний час тільки на основі фосфорнокислих ПЕ створені дослідні енергоустановки потужністю в кілька МВт. PAFC застосовуються на великих стаціонарних об'єктах і служать для виробництва як електроенергії, так і теплоти. Працюють ці ПЕ на водні, однак вимоги щодо його чистоти значно менш суворі, ніж у випадку використання PEMFC. У більшості випадків водень отримують з природного газу або біогазу. Окисно-відновний процес перебігає при температурах 150-220°C. Ефективність процесу вироблення електроенергії оцінюється в 35-45% і до 85% при використанні теплової енергії, що відводиться. Сегмент PAFC вважається самим відпрацьованим серед усіх технологій ПЕ. PAFC стабільно розвивається завдяки можливості використовувати водень із домішками. Сумарна потужність усіх світових установок, що функціонують на основі рідкої фосфорної кислоти, перевищує 75 МВт. Інноваційними можна вважати декілька спроб використання PAFC в автомобільних застосуваннях [30].

Твердотільні оксидні паливні елементи (SOFC – Solid Oxide Fuel Cell).

ПЕ з твердим керамічним електролітом. Відмінність від раніше розглянутих видів полягає у високих температурах реакції (650–1000°C) і різноманітності застосовуваного палива: природний газ, водень, пропан, біогаз, інші вуглецевмісні ПЕ. ККД електрохімічного перетворення становить 50-60%, з урахуванням теплової енергії – до

80%. Основною сферою застосування цієї технології вважається виробництво джерел електричної і теплової енергії для різноманітних житлових, адміністративних та інших приміщень. Деякі компанії ведуть розробки систем для промислового використання. SOFC широко застосовуються в якості первинних і портативних резервних джерел енергії великої ємності. Останнім часом ведуться розробки щодо використання SOFC в автомобільній промисловості, проте, на відміну від PEMFC, мова йде тільки про допоміжні системи, а не про двигун. Спільно з PEMFC ця технологія активно використовується в малих стаціонарних областях застосування виробничих установок. У великих стаціонарних областях застосування є досвід виробництва комерційних установок потужністю 1 МВт.

Паливні елементи на основі розплавленого карбонату (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cells)

ПЕ на основі розплавленого карбонату (солі натрію або літію) функціонують при достатньо високих температурах – 600-700°C. Збільшення робочої температури ПЕ веде до росту швидкості електродних процесів і дозволяє зменшити поляризацію електродів (тобто різницю між E і U) і трохи компенсувати зменшення ЕРС воднево-кисневих ПЕ. При таких температурах можна застосовувати менш активні, ніж платинові метали, електрокаталізатори і в перспективі позбутися благородних металів. Високі температури також дозволяють розширити діапазон застосовуваних палив, тому що високопотенційне тепло, що генерується установкою, може бути ефективно, з мінімум додаткових енерговитрат, використане як для зовнішньої, так і внутрішньої (відбувається безпосередньо у ПЕ) конверсії природного газу, метанолу тощо. При високих температурах знижується чутливість електродів до домішок у паливі, які є каталітичними отрутами. Ці ПЕ можуть бути використані для комбінованого виробництва електричної і теплової енергії, що дозволяє підвищити їх «сумарний ККД». В якості електролітів у ПЕ цього типу використовують розплави карбонатів лужних металів (при температурі 650°C), зокрема електроліти в матриці з пористої кераміки на основі оксидів металів. У цих ПЕ застосовуються неплатинові електроди – пористий нікель, оксиди нікелю, ферити, манганати. Однак висока корозійна активність електроліту створює проблеми ресурсу роботи електродів і конструкційних матеріалів. У даний час відбуваються дослідні та демонстраційні випробування кількох енергоустановок, одна з яких – установка компанії *MTU* (Німеччина) – має максимальну потужність одиничного модуля – 280 кВт. Область застосування цих ПЕ – стаціонарні установки на 1 МВт і вище, тому що при менших

потужностях робочі значення ККД знизяться до 30-40%. Такі робочі температури дозволяють використовувати паливо безпосередньо в самій комірці. ПЕ на основі розплавленого карбонату вимагають значного часу запуску і не дозволяють оперативно регулювати вихідну потужність, тому основна область їх застосування – великі стаціонарні джерела теплової та електричної енергії. Вони відрізняються високою ефективністю перетворення палива – ККД вихідної електричної енергії – до 60% [30].

Широке промислове використання такої технології зумовлюють три чинники: електрохімічні процеси в MCFC не вимагають використання дорогих каталізаторів; як паливо може використовуватися цілий ряд натуральних і синтетичних палив; високі температури перебігу процесів не потребують додаткових реформерів для перетворення палива.

Недолік MCFC полягає в тому, що вони не можуть працювати на чистому водні, а високі температури і хімічні реакції можуть призвести до корозії і прискорити процес зносу елементів конструкції.

Елементи на твердому паливі (MAFC – Metal Air Fuel Cells).

В якості електроліту ПЕ використовується гідроксид калію, а паливом можуть слугувати різні метали: алюміній, магній, кальцій, цинк, залізо. Тверді електроліти на основі оксидів металів – це керамічні матеріали, провідність яких обумовлена транспортом іонів по дефектах кристалічної ґратки. Хоча відома досить велика кількість оксидів, які володіють як кисневою, так і водневою провідністю при підвищених температурах, реальні ПЕ створені поки що на основі ZrO, стабілізованого, наприклад, YO, ScO або CaO, які утворюють з ним тверді розчини і забезпечують ефективну іонну провідність по кисневих вакансіях (робоча температура 800-1000°C). Як у розплавлених карбонатних, так і в твердооксидних ПЕ проводиться попередня конверсія природного газу і реально паливом є все той же водень. Але, оскільки конверсія може проводитися безпосередньо в ПЕ, то формально паливом вважають природний газ.

Ці ПЕ вкрай привабливі, тому що можуть використовувати неплатинові каталізатори (пористий нікель на аноді та змішані оксиди – кобальтити, манганіти, хроміти на катоді), що розширює діапазон видів палива. Вони відносно легко вбудовуються в різні енергетичні цикли за рахунок високопотенційного тепла продуктів реакції.

Однак високі температури вимагають вирішення низки конструкційних проблем, таких як, наприклад, "сумісність використовуваних матеріалів при температурному розширенні". Поки що потужність одиничних модулів твердооксидних ПЕ та

енергоустановок на їх основі одна з найменших.

Компанія Westinghouse Electric Corporation ще в 1992 році побудувала в Японії дві установки потужністю 25 кВт, що працювали на природному газі, і до 1994 року закінчила випробування однієї з установок, яка напрацювала ресурс більше 7000 годин. На іншій установці напрацьовано безперервний ресурс 13000 годин, причому було проведено 11 циклів пусків-зупинок, які є найбільш небезпечними для цих ПЕ через можливість чисто механічних пошкоджень при настільки великому інтервалі зміни температур. Цією ж компанією був досягнутий ресурс роботи ПЕ на основі керамічних елементів трубчастої конструкції більше 50000 годин. Зараз закінчено виготовлення установки на 100 кВт для демонстраційного проекту в Нідерландах і розробляється установка на 250 кВт для експлуатації в США. Елементи трубчастої конструкції мають ряд недоліків: товсті стінки трубок з електроліту, необхідні для надання їм механічної міцності, володіють високим опором, є проблеми комутації одиничних елементів [31].

Контрольні питання до розділу 1

1. Які є основні види пального?
2. Яка класифікація енергоресурсів за видами?
3. Поняття та класифікація систем накопичення електричної енергії.
4. Які є різновиди акумуляторів?
5. Яка є класифікація та характеристики паливних елементів?

РОЗДІЛ 2 ХІМІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

2.1 Поняття хімічної термодинаміки

Перехід енергії з однієї форми в іншу, з однієї системи в іншу, енергетичні ефекти, можливість і напрями мимовільного протікання хімічних процесів вивчає хімічна термодинаміка. Ця наука розглядає також зв'язок між різними ознаками системи. До них відносяться маса, об'єм, температура, хімічний склад та ін. Сукупність всіх ознак – це термодинамічний стан системи.

Хімічна термодинаміка застосовує закони термодинаміки до поведінки речовин в хімічних реакціях. Вона розглядає тільки початковий і кінцевий стан хімічної системи і не описує протікання процесу в часі. Хімічна термодинаміка вивчає системи, що знаходяться або в стані рівноваги, або близькому до нього. Рівновага хімічних реакцій визначає наскільки повно протікає реакція, передбачає можливість здійснення тієї або іншої реакції і передбачає кількість тієї або іншої речовини в реагуючій суміші досягнувши рівноваги. Проте хімічна термодинаміка не може встановити як швидко настане рівновага, оскільки це залежить від властивостей компонентів.

2.2 Енергетика хімічних процесів. Внутрішня енергія і ентальпія

Протікання хімічної реакції супроводжується зміною внутрішньої енергії реагуючих систем і виділенням чи поглинанням енергії у вигляді теплоти, світла, випромінювання, роботи і т.д.. Внутрішня енергія системи U складається з енергії поступального, обертального і коливального руху молекул, атомів і електронів речовин, що входять в систему, енергії зв'язку атомів в молекулах, енергії розміщення електронів на різних рівнях і підрівнях на атомних і молекулярних орбіталах, енергії зв'язку ядерних частинок в ядрі і ряд інших видів енергії, у тому числі і невідомих в даний час. У внутрішню енергію системи не входить кінетична енергія руху всієї системи, як єдиного цілого та потенційна енергія її положення.

Абсолютну величину внутрішньої енергії U визначити неможливо, і в цьому немає потреби, оскільки на практиці ми маємо справу тільки із змінами енергії під час переходу систем з одного стану в інший. Величина U є функцією стану, тобто залежить від стану системи, але не від способу яким він досягнутий.

Якщо внутрішня енергія системи зменшується:

$$\Delta U < 0; (\Delta U = U_2 - U_1), \quad (2.1)$$

де ΔU – зміна внутрішньої енергії системи під час її переходу зі стану 1 в стан 2.

Якщо внутрішня енергія системи зменшується, тобто $\Delta U < 0$, то реакція протікає з виділенням енергії (екзотермічна реакція).

Якщо внутрішня енергія системи зростає $\Delta U > 0$, то процес супроводжується поглинанням енергії із зовнішнього середовища (ендотермічна реакція).

Будь-які енергетичні зміни в системі в результаті протікання хімічних реакцій підкоряються закону збереження енергії (перший закон термодинаміки):

$$Q = \Delta U + A, \quad (2.2)$$

де Q – теплота, підведена до системи (для протікання хімічної реакції), затрачувана на зміну внутрішньої енергії ΔU і здійснення роботи A (робота A , в загальному випадку – робота проти всіх сил, що діють на систему – зовнішнього тиску, електричних і магнітних сил та ін.).

Величина ΔU залежить тільки від початкового і кінцевого стану системи.

Хімічні реакції частіше всього протікають при постійному тиску p ($\Delta p = 0$ – ізобарний процес). В подібних випадках для характеристики процесу зручніше користуватися не внутрішньою енергією, а ентальпією H , яка виводиться із співвідношення .

При $p = \text{const}$: $Q = \Delta U + A$, $A = p\Delta V$, $Q = U_2 - U_1 + p\Delta V$,
 $Q = U_2 - U_1 + p(V_2 - V_1) = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1)$.

Величину $(U + pV)$ називають ентальпією системи і позначають через H . Тоді для ізобарних процесів одержуємо:

$$Q_p = H_2 - H_1 = \Delta H \quad (2.3)$$

Таким чином, при сталому тиску зміна ентальпії ΔH рівна сумі зміни внутрішньої енергії ΔU і здійсненою системою роботи розширення $p\Delta V$.

Для екзотермічної реакції $\Delta H < 0$ (знак «-» відповідає зменшенню ентальпії системи). Для ендотермічної реакції $\Delta H > 0$.

З виразу (2.3) слідує, що ентальпія має ту ж розмірність, що і функції U та A . Ентальпія, як і внутрішня енергія, є функція стану, тобто залежить тільки від стану системи, але не від способу, яким він досягнутий.

Зміна внутрішньої енергії ΔU та ΔH для всіх початкових речовин і продуктів реакції прийнято відносити до стандартних умов $T = 298 \text{ K}$, $t = 25^\circ\text{C}$, $p = 1 \text{ атм}$ (760 мм рт. ст.) і позначати ΔU^0 ΔH^0 або ΔU_{298}^0 ΔH_{298}^0 . Стандартні зміни ентальпії при хімічній реакції ΔH^0 називають стандартною ентальпією реакції.

Стандартна ентальпія реакції утворення 1 моля даної речовини з простих речовин називається стандартною ентальпією утворення цієї речовини. Ентальпія і внутрішня енергія утворення простих речовин рівна нулю.

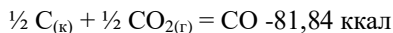
2.3 Термохімічні рівняння. Закон Гесса

Термохімічні рівняння реакцій відрізняються від звичних хімічних рівнянь тим, що в них вказані теплові ефекти реакцій (зміни ентальпії) і агрегатний стан речовин. Тепловий ефект виражається в кДж або ккал (1 ккал = 4,8 кДж). Тепловий ефект реакції залежить від агрегатного стану речовин, який вказується в рівнянні речовин – кристалічний (к), рідкий (р), газ (г) і т.д. Оскільки часто розрахунок ведуть на 1 моль беруть участь в реакції речовин, то можливі дробові показники, наприклад:

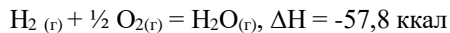


ΔH – тепловий ефект реакції, віднесеної до 1 моля речовин.

Це ж рівняння можна записати:



Тепловий ефект, відповідний утворенню 1 моля сполуки з елементарних речовин, віднесений до стандартних умов, називається теплотою утворення даної сполуки. Отримання сполуки називається екзотермічним, якщо $\Delta H^0 < 0$ і ендотермічним, якщо $\Delta H^0 > 0$.



Вода – сполука екзотермічна, оксид азоту (II) – ендотермічна.

Розкладання екзотермічного з'єднання супроводжується поглинанням тепла, а ендотермічного – виділенням.

При утворенні хімічної сполуки поглинається або виділяється така кількість тепла, еквівалентна кількості тепла, яке виділяється або

поглинається при його розкладанні на первинні складові частини (окремий випадок загального закону збереження маси і енергії).

Теплота утворення ΔH^0 і теплові ефекти хімічних реакцій для більшого числа випадків приводиться в таблицях.

Найважливішим законом, що лежить в основі термохімічних обчислень, є закон суми теплових ефектів, відкритий і експериментально перевірений вченим Гессом (1840 р.).

Тепловий ефект хімічної реакції, що протікає при $p = \text{const}$, або $V = \text{const}$ (тобто зміна ентальпії або внутрішньої енергії системи в результаті реакції), залежить тільки від початкового і кінцевого стану речовин, що беруть участь в реакції і не залежить від проміжних стадій процесу. Іншими словами, сумарний тепловий ефект реакції ΔH рівний, сумі теплових ефектів окремих стадій:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \text{для двох стадійної реакції.}$$

Слідства із закону Гесса:

1. Стандартний тепловий ефект реакції ΔH^0 рівний сумі (стандартних) теплот утворення продуктів реакції $\sum \Delta H^0_{\text{прод}}$. За вирахуванням суми (стандартних) теплот утворення початкових речовин $\sum \Delta H^0_{\text{поч}}$.

$$\Delta H_{\text{реакції}} = \sum \Delta H^0_{\text{прод}} \cdot n_{\text{прод}} - \sum \Delta H^0_{\text{почат.}} \cdot n_{\text{почат.}} \quad (2.4)$$

де, $n_{\text{прод.}}$ і $n_{\text{почат.}}$ – число молей кожного з продуктів і початкових (вихідних) речовин.

2. Тепловий ефект зворотної реакції рівний тепловому ефекту прямою із зворотним знаком:

$$\Delta H_1 = - \Delta H_2 \quad (2.5)$$

3. У круговому процесі сума теплових ефектів хімічних реакцій рівна нулю:

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 = 0 \quad (2.6)$$

2.4 Напрямок мимовільного протікання хімічних процесів. Ентропія і енергія Гіббса

Вивчення теплових ефектів хімічних процесів показало, що екзотермічні реакції, що особливо супроводжуються виділенням теплоти, протікають мимовільно, тобто без притоку енергії ззовні. На основі цих наглядів Берто (1867 рік) затверджував, що мимовільно

протікають лише ті процеси, які супроводжуються виділенням тепла. Проте, згодом стали відомі мимовільно протікаючі процеси, які всупереч принципу Бертоло супроводжувалися ендотермічним ефектом. $C + CO_2 = 2CO$; $\Delta H > 0$; $t = 900^0 - 1000^0C$.

Відомо також, що ряд мимовільно протікаючих реакцій (екзотермічних) $SO_2 + \frac{1}{2} O_2 = SO_3$; $\Delta H < 0$ можуть при деякій високій температурі мимовільно протікати у зворотному напрямі, тобто з поглинанням тепла: $SO_3 = SO_2 + \frac{1}{2} O_2$; $\Delta H > 0$.

Приведені приклади, а також оборотність багатьох хімічних реакцій підтверджують, що за винятком, окремих випадків, теплові ефекти реакцій не можуть служити мірою порівняльної оцінки напряму протікання хімічного процесу.

Напрямок мимовільного протікання будь-якого хімічного процесу визначається зміною вільної енергії системи, тобто тієї частини її загального тепловмісту ($\Delta H = \Delta U + p\Delta V$), яка може бути використана для здійснення максимальної роботи. Її позначають символом ΔG . Вільна енергія G , ще її називають енергія Гіббса, ізобарно-ізотермічний потенціал, визначається при p і $T = \text{const}$, звідси назва і є складною функцією полягання, залежною від зміни тепловмісту системи і її енергії S .

Ентропія S є функцією стану, як U так і H , і характеризує можливий стан речовини і його безперервні зміни. Будь-якому стану речовини, взятої за певних умов, відповідає велика різноманітність мікростанів. Це обумовлено тим, що речовини – атоми, молекули і іони здійснюють безперервні коливальні рухи, переходячи в кожний даний момент з одного мікростану в інший. Чим більше мікростанів речовини, що безперервно переміщуються, тим більше за неврегульованість її загального стану, мірою якого є ентропія. Будь-який рух порушує порядок і, отже, збільшує ентропію. Рідина в порівнянні з твердою речовиною володіє більшою ентропією.

Ентропія зростає $\Delta S > 0$, якщо збільшується число частинок (при $p = \text{const}$), то або росте об'єм, або збільшується можливість їх розміщення (розчинення). Тобто ентропія росте в результаті перетворення твердих речовин у рідину, рідин в газ, а також під час розчинення речовин.

Навпаки, в процесах конденсації і кристалізації ентропія зменшується $\Delta S < 0$.

При збільшенні об'єму ентропія росте, при зменшенні знижується: $SO_3 = 2SO_2 + O_2$, $\Delta S > 0$; $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$, $\Delta S < 0$.

Якщо ж об'єм незмінний, то ентропія постійна і її зміна $\Delta S = 0$. Це, проте, не означає завжди, що якщо об'єм системи не міняється, то її

загальна ентропія зберігає своє первинне значення. Тут грає роль склад молекул. Складніші молекули як в якісному так і в кількісному відношенні характеризуються великим числом мікростанів, а, отже, і більш високими значеннями ентропії.

Так для реакції $H_2 + Cl_2 = 2HCl$, $\Delta S \neq 0$, оскільки ентропія двох молей HCl більше суми ентропій 1 моля H_2 і 1 моля Cl_2 , тобто для цієї реакції $\Delta S > 0$.

Досвід показує, що процеси, що протікають мимовільно без витрати енергії, йдуть у напрямі збільшення невпорядкованості (безладу) в системі і супроводжуються збільшенням ентропії.

Ентропію відносять до 1 моля речовини, позначають в стандартних умовах S^0 , виражають Дж/моль · град або умовних ентропійних одиницях (у.е.о.); 1 у.е.о. = 1 Дж/моль 0C .

$$\Delta S_{\text{реакц.}} = \sum n_{\text{прод}} S_{\text{прод}} - \sum n_{\text{поч.}} \cdot S_{\text{поч.}} \quad (2.7)$$

З підвищенням температури ентропія речовин S виростає – збільшується рух частинок. Слід зазначити, що на відміну від ентальпії утворення, ентропія простої речовини не рівна нулю, оскільки при $T \neq 0$ мікростан речовини може бути реалізовано не одним мікростаном, а великим числом рівноімовірних мікростанів.

У хімічних процесах одночасно виявляється дія двох тенденцій: з одного боку, прагнення системи до мінімальної енергії (за рахунок утворення хімічних зв'язків) і зменшення ентальпії, а з іншою – прагнення частинок, створюючих систему до безладного розподілу (за рахунок теплового руху) і збільшення ентропії системи.

Функцією стану, одночасно, що відображає вплив обох тенденцій на напрям протікання хімічних процесів, служить вільна енергія G , пов'язана з ентальпією H і ентропією S співвідношенням:

$$G = H - TS \quad (2.8)$$

Вільна енергія має ту ж розмірність, що і ентальпія. Для ізобарно-ізотермічних процесів ($p = \text{const}$, $T = \text{const}$) зміна вільної енергії ΔG дорівнює:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2.9)$$

Як і ΔH та ΔS , зміна вільної енергії в результаті хімічної реакції $\Delta G_{\text{реакц}}$ дорівнює:

$$\Delta G_{\text{реакц.}} = \sum_{\text{прод.}} \Delta G_{\text{прод.}} - \sum_{\text{поч.}} \Delta G_{\text{поч.}} \quad (2.10)$$

Вільну енергію утворення відносять до 1 моля речовини, при цьому ΔG^0 утворення простої речовини приймають рівною нулю.

При $p = \text{const}$, $T = \text{const}$ хімічні реакції можуть мимовільно протікати тільки в такому напрямі, при якому вільна енергія системи зменшується $\Delta G < 0$; зростання $\Delta G > 0$ свідчить про неможливість здійснення процесу в даних умовах. Якщо $\Delta G = 0$, то система знаходиться в стані хімічної рівноваги і в цьому випадку дія ентальпійного ΔH і ентропійного $T\Delta S$ чинників на напрям протікання процесу еквівалентного, тобто

$$\Delta H = T\Delta S \quad (2.11)$$

Якщо $\Delta S > 0$, те підвищення температури сприятиме зсуву ΔG в область негативних значень.

При $\Delta S < 0$ підвищення температури зміщує рівновагу в область позитивних значень ΔG .

У загальному випадку при низьких температурах найбільш ймовірно мимовільне протікання екзотермічних реакцій навіть якщо при цьому ентропія системи зменшується. При високих температурах найбільш вірогідне протікання реакцій, що супроводжуються зростанням ентропій, у тому числі і ендотермічних реакцій. Необхідно відзначити, що (-) знак зміни вільної енергії даної реакції $\Delta G < 0$ вказує тільки на можливість її протікання. Чи спостерігатиметься процес насправді, залежить від конкретних умов і кінетичних чинників, оскільки час не враховується при термохімічному описі. Насправді реакція може і не спостерігатися, оскільки швидкість її може бути дуже малою.

Тоді для з'ясування особливостей протікання процесу в допомогу хімічній термодинаміці постає хімічна кінетика.

Контрольні питання до розділу 2

1. Розкрити поняття основних параметрів стану.
2. Які функції стану термодинамічного процесу?
3. Охарактеризувати термодинамічні потенціали (внутрішня енергія, ентальпія, енергія Гіббса, енергія Гельмгольца).
4. Чи може система виконати роботу без підведення енергії до системи?
5. Чи може система виконати будь-яку роботу, якщо її об'єм не змінюється?

РОЗДІЛ 3 ХІМІЧНА КІНЕТИКА

3.1 Поняття хімічної кінетики. Гомогенні і гетерогенні системи

Хімічною кінетикою називається вчення про швидкість хімічних реакцій і залежності її від різних чинників – природа і концентрації реагуючих речовин, температури, наявність каталізаторів та ін. Відомо, що різні хімічні реакції протікають з різними швидкостями. Одні з них здійснюються блискавично, інші за більш тривалий час. Крім того, багато реакцій швидко відбуваються при високій температурі, а на холоді йдуть надзвичайно поволі.

При вивченні швидкості хімічних реакцій необхідно розрізнити реакції в гомогенних системах (гомогенні реакції) і гетерогенних системах (гетерогенні реакції).

У хімії системами називають умовно виділені частини для розгляду сукупності властивостей речовин. Гомогенною називається система, що складається з однієї фази, а гетерогенною – система, що складається з декількох фаз.

Фазою називається частина системи, відокремлена від інших її частин поверхнею розділу, під час переходу через яку властивості змінюються стрибкоподібно.

Прикладами гомогенних систем можуть бути газові суміші або розчини незалежно від числа компонентів. Такі системи складаються з однієї фази.

Приклади гетерогенних систем – рідини, що містять декілька фаз – вода з льодом, розчин з осадом і т.д. Таким чином, гомогенні реакції протікають в однофазних системах, а гетерогенні – в багатофазних системах.

Швидкістю гомогенної реакції називається кількість речовини, що вступає в реакцію або що утворюється при реакції за одиницю часу в одиниці об'єму системи.

Швидкістю гетерогенної реакції називається кількість речовини, що вступає в реакцію або що утворюється при реакції за одиницю часу на одиниці площі поверхні розділу фаз або в одиниці маси або об'єму твердої фази.

Оскільки речовини реагують одна з одною в еквівалентних кількостях, то про швидкість реакції судять по зміні концентрації будь-якої з реагуючих речовин.

Швидкість хімічних реакцій залежить від природи реагуючих речовин, їх концентрацій і умов, в яких протікає дана реакція.

Концентрація реагуючих речовин впливає на швидкість хімічних реакцій через різну вірогідність зіткнення молекул реагуючих речовин. Згідно молекулярно-кінетичним уявленням, із збільшенням концентрації однієї з реагуючих речовин, збільшується і швидкість хімічної реакції.

Основним законом хімічної кінетики є закон дії мас відкритий норвезькими ученими Гульдбергом К. і Вааге П. в 1867 р., згідно якому: швидкість хімічної реакції при постійній температурі прямо пропорційна добутку концентрації реагуючих речовин, зведених в ступені їх стехіометричних коефіцієнтів.

Наприклад для реакції типу:



де, А, В – реагуючі речовини, C_A , C_B – позначення концентрації вихідних реагентів А і В, k – константа швидкості реакції.

Величина константи швидкості (k) залежить від природи реагуючих речовин, температури, присутності каталізатора, але не залежить від концентрації речовин.

У вираз для швидкості хімічних реакцій входять концентрації речовин тільки в газовій і рідкій фазах.

Молекулярно-кінетична теорія дозволяє підрахувати число зіткнень між молекулами. Але не всяке зіткнення молекул реагуючих речовин приводить до утворення нової речовини. Для цього необхідно затрачувати певну енергію. Надмірна енергія, якою повинні володіти молекули для того, щоб їх зіткнення приводили до утворення нової речовини називається енергією активації даної реакції. Молекули, що володіють такою енергією, називаються активними молекулами.

Із зростанням температури число активних молекул зростає, звідси витікає, що і швидкість реакції збільшується з підвищенням температури.

Кількісно залежність швидкості гомогенних реакцій від температури визначається правилом Вант-Гоффа, згідно якому, при підвищенні температури на кожні 10° швидкість гомогенних хімічних реакцій збільшується в два – чотири рази. При цьому байдуже, на якому саме відрізку температурної шкали відбувається підвищення температури.

Математично правило Вант-Гоффа записується:

$$V_{t2} = V_{t1} \gamma^{(t2-t1)/10}, \quad (3.2)$$

де, γ – температурний коефіцієнт швидкості реакції. Це співвідношення носить наближений характер.

Збільшити швидкість реакції можна також за допомогою каталізаторів. Їх вживання набагато вигідніше, ніж підвищення температури, оскільки воно не завжди здійснюється.

3.2 Поняття каталізу. Ланцюгові реакції

Речовини, що не витрачаються в результаті протікання реакції, але, що збільшують її швидкість називаються каталізаторами.

Речовини, що уповільнюють швидкість хімічних реакцій називаються інгібіторами. Реакції, що протікають під дією каталізаторів, називаються каталітичними. У більшості випадків дія каталізатора пояснюється тим, що він знижує енергію активації реакції. У присутності каталізатора реакція проходить через інші проміжні стадії, ніж без нього, причому ці стадії енергетично більш вигідні.

Розрізняють гомогенний і гетерогенний каталіз. Гомогенний каталіз здійснюється в тих випадках, коли реагуючі речовини і каталізатор знаходяться в одній фазі. При гетерогенному каталізі каталізатор в реагуючій системі знаходиться в самостійній фазі. Як каталізатори при гетерогенному каталізі використовуються перехідні метали, їх оксиди і солі.

Дія каталізатора заснована на тому, що він вступає у взаємодію з реагуючими речовинами з утворенням проміжних продуктів, і тим самим спрямовує процес по новому реакційному шляху.

При гомогенному каталізі каталізатор утворює реакційно здатні продукти, наприклад в загальному вигляді:



Складніший механізм гетерогенного каталізу. В ході гетерогенних реакцій виділяють три основні стадії:

- підведення реагуючої речовини до поверхні розділу фаз;
- хімічна реакція на поверхні розділу фаз;
- відведення продукту реакції від поверхні розділу фаз.

Стадія, визначальна швидкість протікання реакції називається лімітуючою, тобто протікаюча повільніше за інші.

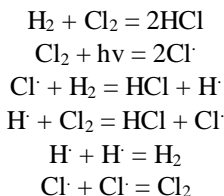
Якщо найбільш поволі йде хімічна реакція, то процес протікає в кінетичній області, в цьому випадку необхідно усилити ті чинники (концентрацію початкових речовин, температуру, вживання каталізатора і т.п.), які впливають особливо на швидкість реакції.

Якщо загальну швидкість процесу лімітує підведення реагентів або відведення продуктів, то це значить, що процес відбувається в дифузійній області. Отже, необхідно підсилити ті чинники, які сприяють збільшенню швидкості дифузії (перемішування, підвищення температури і концентрації, перехід системи з багатофазної в однофазну).

Дуже велику роль грає каталізатор в біологічних системах. Каталізатори, називаються в цьому випадку ферментами і є простими або складними білками.

Відомі також ряд складніших реакцій, таких як горіння, вибух, окислення вуглеводнів і полімеризація, що мають назву ланцюгових. Вони лімітуються вільними радикалами,

Розрізняють ланцюгові реакції з нерозгалуженим ланцюгом і розгалуженої, коли взаємодія вільного радикала з молекулою початкової речовини приводить до освіти не одного, а двох або більшого числа нових активних центрів. Приклад нерозгалуженого ланцюга – реакція синтезу HCl:



З розгалуженим ланцюгом: $\text{H}_2 + \text{O}_2 = \cdot\text{OH} + \cdot\text{OH}$ і т.д.

До ланцюгових реакцій відносяться і ядерні реакції. Тут роль активної частинки грає нейтрон, проникнення якого в ядро атома приводить до його розпаду, що супроводжується виділенням великої енергії і утворенням нових нейтронів, що продовжують ланцюг ядерних реакцій.

3.3 Хімічне рівняння. Незворотні і оборотні реакції. Зміщення хімічної рівноваги. Принцип Ле-Шательє

Всі хімічні реакції можна розбити на дві групи: необоротні і оборотні. Необоротні реакції протікають до кінця – до повного витрачення однієї з реагуючих речовин. Оборотні реакції протікають не до кінця: при оборотній реакції жодна з реагуючих речовин не витрачається повністю. Ці реакції протікають як в прямому, так і у зворотному напрямі.

Наприклад: $\text{CaO} + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ – у разі оборотних реакцій $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$

На малюнку показана зміна швидкостей прямої і зворотної реакції з часом. Коли швидкості прямої і зворотної реакції стають однаковими настає хімічна рівновага.

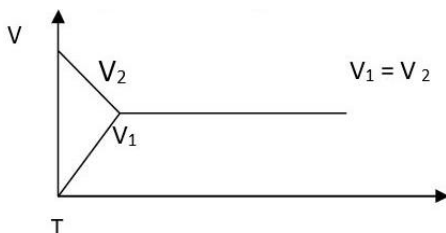


Рисунок 3.1 – Зміна швидкостей прямої і зворотної реакції з часом

Кількісною характеристикою хімічної рівноваги служить константа хімічної рівноваги K_p .

Наприклад, для реакції типу: $nA + mB \rightleftharpoons pC + qD$

швидкість прямої реакції: $V_1 = k_1 \cdot [A]^n \cdot [B]^m$

швидкість зворотної реакції: $V_2 = k_2 \cdot [C]^p \cdot [D]^q$

При рівновазі: $V_1 = V_2$

$k_1 \cdot [A]^n \cdot [B]^m = k_2 \cdot [C]^p \cdot [D]^q$

Відношення константи швидкості прямої реакції до зворотної називається константою рівноваги. $K_p = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^p \cdot [D]^q}{[A]^n \cdot [B]^m}$

Вона залежить від температури, природа речовин і не залежить від концентрації і каталізатора. Таким чином, рівняння константи рівноваги показує, що в умовах рівноваги концентрації всіх речовин, що беруть участь в реакції зв'язані між собою. Зміна концентрації будь-якого з них призводить до зміни концентрацій всієї решти речовин; у результаті встановлюються нові концентрації, але співвідношення між ними відповідає константі рівноваги.

У разі гетерогенних реакцій у вираз константи рівноваги входять концентрації речовин, що знаходяться в газовій і рідкій фазах.

Константа рівноваги пов'язана із зміною стандартного ізобарно-ізотермічного потенціалу хімічної реакції ΔG^0

$$\Delta G^0 = - R \cdot T \cdot \ln K_p \quad (3.6)$$

З чого видно, великим негативним значенням $\Delta G^0 < 0$ відповідають великі значення K_p , тобто в рівноважній суміші переважають продукти реакції. Якщо ж $\Delta G^0 > 0$, то в рівноважній суміші переважають початкові речовини. Якщо система знаходиться в стані рівноваги, то вона перебуватиме в ньому до тих пір, поки зовнішні умови зберігаються постійними. Якщо ж умови зміняться, то система вийде з рівноваги – швидкості прямого і зворотного процесів зміняться неоднаково, тобто протікатиме реакція. Найбільше значення мають випадки порушення рівноваги внаслідок зміни концентрації якої-небудь з речовин, що беруть участь в рівновазі, тиску і температури.

Порушення рівноваги внаслідок зміни концентрації:

Процес зміни концентрацій, викликаний порушенням рівноваги, називається зсувом або зсувом рівноваги. Якщо при цьому відбувається збільшення концентрацій речовин, що стоять в правій частині рівняння, то рівновага зміщується вправо, тобто у напрямі перебігу прямої реакції; при зворотній зміні концентрацій рівновага зміщується вліво – у напрямі зворотної реакції.

Таким чином, при збільшенні концентрації якої-небудь з речовин, що беруть участь в рівновазі, рівновага зміщується у бік витрати цієї речовини; при зменшенні концентрації якої-небудь з речовин рівновага зміщується у бік утворення цієї речовини.

Порушення рівноваги унаслідок зміни тиску:

При збільшенні тиску шляхом стиснення системи рівновага зсувається у бік зменшення числа молекул газів, тобто у бік пониження тиску; при зменшенні тиску рівновага зсувається у бік зростання числа молекул газів, тобто у бік збільшення тиску.

У тому випадку, коли реакція протікає без зміни числа молекул газів, рівновага не порушується при стисненні або при розширенні системи, наприклад, в системі $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$ рівновага не порушується при зміні об'єму, вихід HI не залежить від тиску.

Порушення рівноваги унаслідок зміни температури:

Рівновага переважної більшості хімічних реакцій зсувається при зміні температури.

Чинником, який визначає напрям зсуву рівноваги, є при цьому знак теплового ефекту реакції.

При підвищенні температури рівновага зміщується у напрямі ендотермічної, а при пониженні – у напрямі екзотермічної реакції.

Закономірності, які виявляються при порушенні хімічної рівноваги, є окремими випадками загального принципу, що визначає вплив різних чинників на рівноважні системи. Цей принцип має назву принципу рухомої рівноваги (принцип Ле-Шательє).

Якщо на систему, яка перебуває в рівновазі, здійснити будь-який вплив, то в результаті процесів, що протікають у ній, рівновага зміститься в такому напрямку, щоб зменшити цей вплив.

Так, наприклад: $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3, \Delta H^\circ < 0$

Для зсуву рівноваги вправо: знизити температуру, збільшити тиск, збільшити концентрації SO_2 і O_2 і знизити концентрацію SO_3 .

Принцип Ле-Шательє розповсюджується не тільки на хімічні, але і на різні фізико-хімічні рівноваги. Зсув рівноваги при зміні умов таких процесів, як кипіння, кристалізація, розчинення відбувається відповідно до принципу Ле-Шательє.

Контрольні питання до розділу 3

1. Як називається основний закон хімічної кінетики?
2. Чи може температура системи залишатися незмінною з підведенням до неї певної кількості енергії (теплоти)?
3. Що впливає на швидкість хімічної реакції?
4. Охарактеризувати поняття «енергія активації».
5. Що називається зміщенням хімічної рівноваги?
6. Як впливають на хімічну рівновагу зовнішні чинники?

РОЗДІЛ 4 РОЗЧИНИ

4.1 Характеристика розчинів. Способи виразу концентрації розчинів. Гідрати і кристалогідрати. Розчинність. Поняття осмосу і осмотичного тиску. Перший закон Рауля

Розчином – називається гомогенна система, що складається з двох і більш компонентів і продуктів їх взаємодії.

Розчин складається з розчинених речовин і розчинника. За агрегатним станом розчини умовно поділяють на рідкі, тверді і газоподібні.

Розчин, що знаходиться в рівновазі з речовиною, що розчиняється, називається насиченим. Розчини з низьким змістом розчиненої речовини називається розбавленим, з високим – концентрованим.

Концентрація – ця кількість розчиненої речовини, що знаходиться в певній кількості розчину або розчинника.

Способи вираження концентрації розчинів:

1. Масова частка – відношення маси розчиненої речовини до маси розчину:

$$C = m_{\text{реч}}/m_{\text{р-ну}} \quad (4.1)$$

Масова частка, виражена у відсотках, називається відсотковою концентрацією розчину:

$$C = (m_{\text{реч}}/m_{\text{розч}}) \cdot 100\% \quad (4.2)$$

2. Молярна частка – відношення кількості розчиненої речовини (розчинника) до суми кількостей всіх речовин, що становлять розчин:

$$N_i = n_{\text{реч}}/n_{\text{розч}} \quad (4.3)$$

3. Молярна концентрація (молярність) – відношення кількості розчиненої речовини до об'єму розчину або число молей розчиненої речовини в 1 л розчину (моль/л, M):

$$C_M = m_{\text{реч}}/(M_{\text{реч}} \cdot V_{\text{розч}}) \quad (4.4)$$

4. Молярна концентрація (молярність) – відношення кількості розчиненої речовини до маси розчинника або число молей розчиненої речовини в 1 кг розчинника (моль/кг):

$$C_m = m_{\text{реч}} / (M_{\text{реч}} \cdot m_{\text{роз}}) \quad (4.5)$$

5. Еквівалентна або нормальна концентрація (нормальність) – відношення числа еквівалентів розчиненої речовини до об'єму розчину або число еквівалентів розчиненої речовини в 1 л розчину (г екв/л, н):

$$C_n = m_{\text{реч}} / (m_{\text{е.реч.}} / V_{\text{роз}}) \quad (4.6)$$

6. Титр розчину – маса речовини, що міститься в 1 мл розчину (г/мл):

$$T = m/V \quad (4.7)$$

Кількість теплоти, що поглинається або виділяється при розчиненні одного моля речовини, називається теплотою розчинення цієї речовини. Теплота розчинення – від'ємна, якщо вона поглинається і додатна, якщо – виділяється.

При розчиненні багатьох речовин їх молекули (іони) зв'язуються з молекулами розчинника, утворюючи з'єднання, названі сольватами, а процес сольватацією. Якщо розчинником є вода, то з'єднання називаються гідратами, а процес – гідратацією. Гідрати, що утворюються в результаті донорно-акцепторної взаємодії, є окремим випадком комплексних з'єднань.

При розчиненні речовин з молекулярною структурою сольвати утворюються унаслідок диполь-дипольної взаємодії.

Процес розчинення – не тільки фізичний, але і хімічний. Речовини, що розчиняються у воді, утворюють з нею сполуки. Гідрати, як правило, нестійкі з'єднання, що розкладаються при випаровуванні розчинів. Але іноді гідрати настільки міцні, що при виділенні розчиненої речовини з розчину, вода входить до складу його кристалів. Речовини, в кристали яких входять молекули води, називаються кристалогідратами, а вода, що міститься в них, – кристалізаційною. Склад кристалогідратів зображається формулами, що показують, яку кількість кристалізаційної води містить кристалогідрат. Наприклад, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (мідний купорос), $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (глауберова сіль).

Міцність зв'язку між речовиною і водокристалізації в кристалогідратах різна. При розчиненні речовини, що піддається

гідратації загальний тепловий ефект складається з теплового ефекту власне розчинення і теплового ефекту гідратації.

Розчинністю називається здатність речовини розчинятися в тому або іншому розчиннику. Мірою розчинності речовини за даних умов служить вміст його в насиченому розчині. Речовини, що складаються з полярних молекул і речовини з іонним типом зв'язку, краще розчиняються в полярних розчинниках (вода, спирти, NH_3), а неполярні речовини – в неполярних розчинниках (бензол, сірковуглець). Розчинення більшості твердих тіл супроводжується поглинанням теплоти в результаті витрати енергії на руйнування кристалічних ґраток.

Закон розподілу

Речовина, здатна розчинятися в двох розчинниках, що не змішуються, розподіляється між ними так, що відношення його концентрацій в цих розчинниках при постійній температурі залишається постійним, незалежно від загальної кількості розчиненої речовини:

$$C_1/C_2 = k, \quad (4.8)$$

де, C_1 і C_2 – концентрації розчиненої речовини в 1 і 2 розчинниках, k – коефіцієнт розподілу.

Розчинення газів у воді є екзотермічним процесом, тому розчинність газів з підвищенням температури зменшується

Закон Генрі

Маса газу, що розчиняється при постійній температурі в даному об'ємі рідини, прямо пропорційна парціальному тиску газу.

$$C = k \cdot p, \quad (4.9)$$

де, C – масова концентрація газу в насиченому розчині, p – парціальний тиск, k – константа Генрі.

Наслідок закону Генрі: Об'єм газу, що розчиняється при постійній температурі в даному об'ємі рідини, не залежить від його парціального тиску.

Процес переміщення речовини, що приводить до вирівнювання його концентрації, називається дифузією, при цьому ентропія системи зростає.

Якщо між двома системами розчинів з різною концентрацією помістити перегородку, проникну для води і непроникну для розчиненої речовини, вирівнювання їх концентрацій здійснюватиметься лише

дифузією розчинника. Така одностороння дифузія через напівпроникну перегородку називається осмосом.

Надмірний тиск стовпа рідини, що прагне до вирівнювання концентрацій називається осмотичним тиском.

Вант-Гофф показав, що для розчинів неелектролітів невисоких концентрацій залежність осмотичного тиску від концентрації розчину виражається рівнянням:

$$P_{\text{осм}} = C_M RT, \quad (4.10)$$

де, C_M – молярна концентрація, R – універсальна газова постійна, T – абсолютна температура розчину.

При даній температурі тиск насиченої пари над рідиною – величина постійна. При розчиненні в рідині речовини тиск насиченої пари цієї рідини знижується, тобто тиск насиченої пари розчинника над розчином завжди нижче, ніж над чистим розчинником.

Відношення пониження тиску до тиску насиченої пари над чистим розчинником називається відносним пониженням тиску пари над розчином.

Перший закон Рауля

Відносне пониження тиску насиченої пари розчинника над розчином рівне молярній частці розчиненої речовини:

$$(P_0 - P)/P_0 = N_2, \quad (4.11)$$

де, P_0 , P – тиск насиченої пари розчинника над чистим розчинником і над розчином відповідно, N_2 – молярна частка розчиненої речовини.

4.2 Замерзання і кипіння розчинів. Особливості розчинів солей, кислот та основ. Теорія електролітичної дисоціації. Ступінь дисоціації. Константа дисоціації. Теорія сильних електролітів

Індивідуальна речовина володіє строго постійними температурами кипіння і плавлення, або кристалізації. Присутність розчиненої сполуки підвищує температуру кипіння і знижує температуру плавлення або замерзання розчинника.

Різниця між температурами кипіння розчину і чистого розчинника називається підвищенням температури кипіння розчину $\Delta t_{\text{кип}}$. Різницю між температурами замерзання чистого розчинника і розчину називають пониженням температури замерзання $\Delta t_{\text{зам}}$.

Рідина кипить, коли тиск її насиченої пари досягає значення зовнішнього тиску.

Рауль встановив, що для розбавлених розчинів не електролітів підвищення температури кипіння і пониження температури замерзання пропорційні молярній концентрації розчину.

$$\Delta t_{\text{кип}} = E C_M; \Delta t_{\text{зам}} = K C_M, \quad (4.12)$$

де, E – ебуліоскопічна константа; K – кріоскопічна константа.

Вони залежать від природи розчинника і не залежать від природи розчиненої речовини. Оскільки,

$$C_M = m_{\text{реч}}/M \cdot m_{\text{роз}}, \quad (4.13)$$

тоді:

$$\Delta t_{\text{кип}} = E m_{\text{реч}}/M \cdot m_{\text{роз}}; \quad (4.14)$$

$$\Delta t_{\text{зам}} = K m_{\text{реч}}/M \cdot m_{\text{роз}}, \quad (4.15)$$

звідси молярна маса розчинної речовини:

$M = E m_{\text{реч}}/\Delta t_{\text{кип}} \cdot m_{\text{роз}}$ – ебуліоскопічний метод визначення молярної маси розчиненої речовини;

$$M = K m_{\text{реч}}/\Delta t_{\text{зам}} \cdot m_{\text{роз}} \quad (4.16)$$

Для солей, кислот і лугів характерно те, що їх розчини відхиляються від розглянутих законів. Для них осмотичний тиск, пониження тиску пари, зміни температур кипіння і замерзання завжди більші, ніж це відповідає концентрації розчину. Тому Вант-Гофф ввів поправочний коефіцієнт i (ізотонічний коефіцієнт) в рівняння $p_{\text{осм}} = C_M RT$, показуючий в скільки разів осмотичний тиск даного розчину більше «нормального», тоді

$$p_{\text{осм}} = i C_M RT \quad (4.17)$$

Ці явища пояснюються тим, що молекули розчиненої речовини розпадаються в розчині на іони і загальне число частинок в розчині зростає, а оскільки осмотичний тиск залежить від кількості частинок розчиненої речовини, то з їх збільшенням воно теж збільшується.

Це вперше було відкрито в 1887 році С. Арреніусом і дана гіпотеза лягла в основу його теорії, що пояснює поведінку солей, кислот і підстав у водних розчинах.

Водні розчини солей, кислот і підстав володіють ще однією особливістю – вони проводять електричний струм. Дані явища були пояснені пізніше з розвитком теорії електролітичної дисоціації.

Згідно якої, при розчиненні у воді електроліти, речовини, провідні електричний струм своїми іонами дисоціюють на (+) і (-) заряджені іони.

(+) заряджені іони називаються катіонами.

(-) заряджені іони аніонами.

Процес електролітичної дисоціації зображається рівняннями, наприклад: $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$.

Проте теорія Арреніуса не враховувала всієї складності явищ в розчинах. Зокрема, вона розглядала іони як вільні, незалежні від молекул розчинника частинки. Теорії Арреніуса протистояла хімічна або гідратна теорія розчинів, в основі якій лежало уявлення про взаємодію розчиненої речовини з розчинником. Пізніше учений Каблуков вирішив дану суперечність висунувши припущення про гідратацію іонів, яка надалі привела до об'єднання даних теорій.

Залежно від структури розчиненої речовини в безводному поляганні його дисоціація протікає по-різному. Найбільш типові два випадки: дисоціація солей, що розчиняються, з іонною структурою і другий – дисоціація при розчиненні кислот, тобто речовин, що складаються з полярних молекул.

У обох випадках, при розчиненні як і іонного кристала, так і при дисоціації полярних молекул у воді іони гідратуються при цьому в останньому випадку іон водню H^+ виявляється міцно пов'язаним з молекулою води в іон гідроксонію H_3O^+ . Схематично цей процес зображається: $\text{H}_2\text{O} + \text{HCl} = \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$

Іони, що перейшли в розчин, залишаються зв'язаними з молекулами H_2O і утворюють гідрати іонів. В загальному випадку будь-якого розчинника ці з'єднання називаються сольватами іонів. Але в рівняння дисоціації пишуть формули іонів, а не їх гідратів або сольватів.

Ступенем дисоціації електроліту α називається відношення числа його молекул, що розпалися в даному розчині на іони, до загального числа його молекул в розчині.

Електроліти діляться на сильні і слабкі. Сильні електроліти у водних розчинах дисоціюють практично повністю.

Сильні електроліти – майже всі солі, луги і ряд кислот (HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , HClO_4 , HBr , HI і ін.). Розглянемо приклад дисоціації вугільної кислоти: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$

Константа рівноваги, що відповідає дисоціації слабого електроліту називається константою дисоціації.

Вона залежить від природи електроліту і розчинника, від температури, але не залежить від концентрації розчину. Вона характеризує здатність електроліту розпадатися на іони в розчині: чим вище K , тим сильніший електроліт.

Закон розбавлення Оствальда:

$$K = C \cdot \alpha^2 / (1-\alpha), \quad (4.18)$$

де, α – ступінь дисоціації, C – концентрація електроліту.

Це рівняння дає можливість обчислювати ступінь дисоціації при різних концентраціях електроліту, якщо відома його константа дисоціації.

Ступінь дисоціації зростає при розбавленні розчину. У водних розчинах сильні електроліти повністю дисоційовані. Тому число іонів в них більше, ніж в розчинах слабких електролітах тієї ж концентрації. Для оцінки полягання іонів в розчині користуються величиною, званою активністю. Під активністю іона (a) розуміють ту ефективну, умовну концентрацію його, відповідно якій він діє при хімічних реакціях. Активність іона (a) рівна його концентрації (C), помноженій на коефіцієнт активності (f):

$$a = f \cdot C. \quad (4.19)$$

Якщо коефіцієнт активності менше 1, то указує на взаємодію між іонами, що приводить до їх скріплення. Якщо він близький до 1, то це свідчить про слабку міжіонну взаємодію, що характерно для дуже розбавлених розчинів.

У розчинах сильних електролітів концентрація іонів велика, відстань між ними порівняно мала і в таких розчинах іони не цілком вільні, рух їх обмежений взаємним тяжінням один до одного. Завдяки чому кожний іон оточений кулястим роєм протилежно заряджених іонів, що одержали назву іонної атмосфери. Ізотонічний коефіцієнт і пов'язаний із ступенем дисоціації електроліту співвідношенням $i = 1+(k-1)$, де k – число іонів, на які розпадається при дисоціації молекула електроліту.

Іонна сила розчину I рівна:

$$I = 0,5 (C_1Z_1^2 + C_2Z_2^2 + \dots + C_nZ_n^2), \quad (4.20)$$

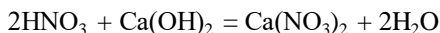
де, C_n – молярна концентрація кожного іона в розчині, Z – заряд іона.

Коефіцієнт активності f іона в розбавленому розчині:

$$lgf = -0,5Z^2 \sqrt{I} \quad (4.27)$$

У обмінних реакціях, що протікають в розчинах електролітів, разом з недисоційованими молекулами слабких електролітів, твердими речовинами і газами беруть участь також, іони, що знаходяться в розчині. В таких рівняннях слабкі електроліти, малорозчинні з'єднання і гази записуються в молекулярній формі, а іони, що знаходяться в розчині, електроліти – у вигляді їх іонів.

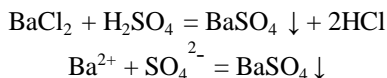
Наприклад, рівняння реакцій нейтралізації сильних кислот сильними підставами:



виражається одним і тим же іонно-молекулярним рівнянням:

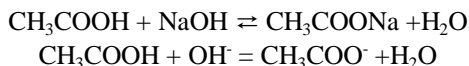


Обмінні реакції в розчинах електролітів протікають у напрямі скріплення іонів, що приводить до утворення малорозчинних речовин (осаду або газів) або молекул слабких електролітів:



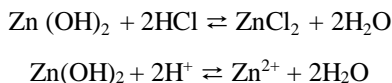
У випадках, коли малорозчинні речовини є як серед початкових речовин, так і серед продуктів реакції, рівновага зміщується у бік утворення якнайменше дисоціюючих речовин.

Приклад: нейтралізація слабкої кислоти сильною основою:



Рівновага зміщується вправо, у бік утворення більше до слабого електроліту – води.

Нейтралізація слабкої основи сильною кислотою:

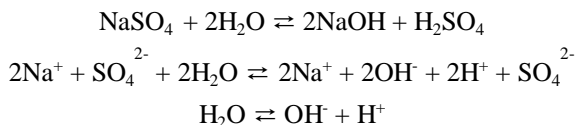


Рівновага зміщується вправо, тому що вода більш слабкий електроліт.

На підставі розглянутих прикладів можна зробити загальний висновок. Обов'язковою умовою перебігу реакцій між електролітами є видалення з розчину тих або інших іонів – наприклад, унаслідок утворення слабо дисоціюючих речовин або речовин, що виділяються з розчину у вигляді осаду або газу. Інакше кажучи, реакції в розчинах електролітів йдуть у бік утворення якнайменше дисоціюючих або якнайменше розчинних речовин.

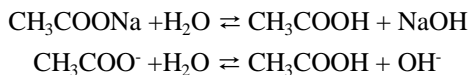
Гідролізом називається взаємодія речовини з водою, при якій складові частини речовини з'єднуються з складовими частинами води.

Солі, утворені сильною кислотою і сильною основою, гідролізу не піддаються, оскільки нейтралізація в цьому випадку зводиться:



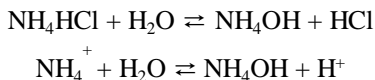
а дисоціація молекули води на іони протікає в нікчемно малій формі.

Гідроліз солі, що утворена слабою кислотою і сильною основою:



Таким чином, розчини солей, утворених слабою кислотою і сильною основою, мають лужну реакцію.

Гідроліз солі, що утворена слабою основою і сильною кислотою:



Розчини солей, утворених слабою основою і сильною кислотою, мають кислу реакцію.

У розглянутих випадках гідролізу піддається не вся кількість знаходиться в розчині солі, а тільки частина його. Частка речовини, що піддається гідролізу – ступінь гідролізу, залежить від константи цієї

рівноваги, а також від температури і від концентрації солі. Її значення характеризує здатність солі піддаватися гідролізу, чим більша константа гідролізу K_G , тим більшою мірою протікає гідроліз.

Для випадку солі, освіченою слабкою кислотою і сильною основою, константа гідролізу пов'язана з константою дисоціації кислоти $K_{\text{кисл.}}$ залежністю:

$$K_G = K_{\text{H}_2\text{O}}/K_{\text{кисл.}}, \quad (4.21)$$

де, $K_{\text{H}_2\text{O}}$ – іонний добуток води.

Чим слабша кислота, тим більшою мірою піддаються гідролізу її солі.

$$K_G = K_{\text{H}_2\text{O}}/K_{\text{осн.}} \quad (4.22)$$

Чим слабші основи, тим більшою мірою піддаються гідролізу утворені ними солі.

Для солей, утворених слабкою кислотою і слабкою основою, константа гідролізу має вигляд:

$$K_G = K_{\text{H}_2\text{O}}/ K_{\text{кисл.}} \cdot K_{\text{осн.}} \quad (4.23)$$

Ступенем гідролізу h називається частка електроліту, що піддалася гідролізу. Вона пов'язана з константою гідролізу K_G рівнянням

$$K_G = h^2 C_M(1- h) \quad (4.24)$$

Оскільки частина солі, що гідролізована дуже мала, а концентрація продуктів гідролізу незначна, то $h \ll 1$ і одержуємо $K_G = h^2 \cdot C_M$ або $h = \sqrt{K_G/C_M}$.

Особливо глибоко протікає гідроліз солей, утворених слабкою кислотою і слабкою основою.

Якщо в розчин солі, що гідролізується ввести реактив, що зв'язує іони H^+ або OH^- , що утворюються при гідролізі, то відповідно до принципу Ле-Шательє рівновага зміщується у бік посилення гідролізу; в результаті гідроліз може протікати повністю – до утворення кінцевих продуктів. Рівновага гідролізу може бути зміщена також зміною температури. Оскільки зворотний до гідролізу процес – реакція нейтралізації – протікає з виділенням теплоти, то реакція гідролізу являє

собою ендотермічний процес. Тому підвищення температури веде до посилення гідролізу, а пониження – до його послаблення.

4.3 Властивості кислот, основ і солей з погляду теорії електролітичної дисоціації. Поняття про іонно-молекулярні рівняння

Згідно з теорією електролітичної дисоціації **кислоти** – це електроліти, що дисоціюють в розчинах з утворенням іонів водню. $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ Для кислот характерні наступні загальні властивості:

- взаємодія з основами, з утворенням солей: $\text{HCl} + \text{NaOH} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$;
- взаємодія з деякими металами з виділенням водню: $2\text{HCl} + 2\text{Na} = 2\text{NaCl} + \text{H}_2$;
- зміна кольору індикаторів (лакмус – червоний колір);
- кислий смак.

Всі властивості кислот, характерні для водних розчинів визначаються присутністю гідратованих іонів водню. Чим краще кислота дисоціює, тобто чим більша її константа дисоціації, тим вона сильніша.

Основи – це електроліти, що дисоціюють в розчинах з відщепленням гідроксид-іонів.



Як і для кислот, чим більша константа дисоціації, тим вони сильніші. Для основ характерні наступні загальні властивості:

- взаємодія з кислотами з утворенням солей;
- змінювати колір індикаторів (лакмус – синій колір);
- своєрідний мильний смак.

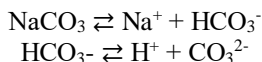
Солі – електроліти, які при розчиненні у воді дисоціюють, з відщепленням (+) іонів, що відмінні від іонів водню і (-) іонів, що відмінні від гідроксид іонів.

Іонів, які були б спільними для водних розчинів усіх солей, не існує, тому солі не мають спільних властивостей.

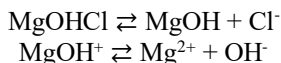
Як правило, солі добре дисоціюють, і чим менші заряди іонів, які утворюють сіль, тим краще відбувається дисоціація.

При розчиненні кислих солей в розчині утворюються катіони металу, складні атоми кислотного залишку, а також іони, що є продуктами дисоціації цього складного кислотного залишку, у тому числі H^+ .

Наприклад:



При дисоціації основних солей утворюються аніони кислоти і складні катіони, що складаються з металу і гідроксогруп, які дисоціюють з утворенням OH^- і іонів металу.



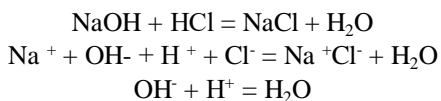
Таким чином, теорія електродисоціації пояснює загальні властивості кислот присутністю в їх розчинах іонів водню, а загальні властивості основ – гідроксид-іонів. Проте, це пояснення не є загальним. Зокрема, кислоти і основи можуть реагувати один з одним, без дисоціації на іони (безводні властивості), а також, деякі речовини, що не мають в своєму складі групи OH^- , але які проявляють властивості основ NH_3 : $\text{NH}_3 + \text{HCl} = \text{NH}_4\text{Cl}$.

Вивчення такого роду реакцій привело до створення протонної теорії (1923 р.).

Протонна теорія (1923 р.) Згідно з якою кислотою є донор протона, тобто частинка, яка здатна віддавати іон водню, а основою – акцептор протона, тобто частинка, здатна приєднувати протон. Співвідношення між кислотою і основою визначається схемою:

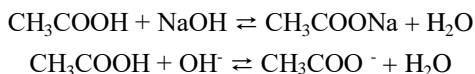
Основа + протон \rightleftharpoons кислота

Іонно-молекулярні рівняння розглянемо на прикладі нейтралізації сильної кислоти основами:

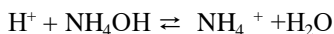
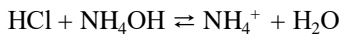


Таким чином, реакції нейтралізації сильних основ сильною кислотою зводяться до одного процесу – до утворення молекул води.

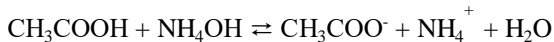
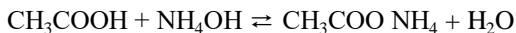
Нейтралізація слабкої кислоти сильною основою:



Нейтралізація сильної кислоти слабкою основою:



Нейтралізація слабкої кислоти слабкою основою:

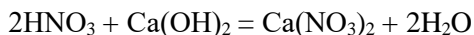


Реакції нейтралізації сильних кислот сильними основами протікають практично до кінця. Реакції ж нейтралізації, в яких хоча б одна з початкових речовин є слабким електролітом і при яких молекули мало дисоціюючих речовин знаходяться як у правій, так і в лівій частині рівнянь, протікають не до кінця. Вони досягають стану рівноваги, тому дані рівняння записуються як оборотні.

Зміщення іонних рівноваг. Гідроліз солей

В обмінних реакціях, що відбуваються в розчинах електролітів, разом із недисоційованими молекулами слабких електролітів, твердими речовинами і газами, беруть участь також і іони, що знаходяться в розчині. Тому сутність процесів, що відбуваються, найповніше виражається при записі їх у формі іонно-молекулярних рівнянь. У таких рівняннях слабкі електроліти, малорозчинні сполуки і гази записуються в молекулярній формі, а аніони, що знаходяться в розчині, та електроліти – у вигляді складових їх іонів.

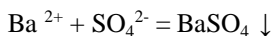
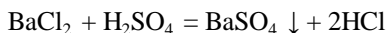
Наприклад, рівняння реакцій нейтралізації сильних кислот сильними основами:



виражається тим самим іонно-молекулярним рівнянням:

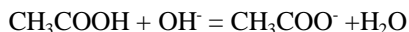
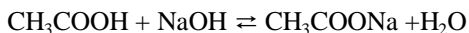


Обмінні реакції в розчинах електролітів протікають у напрямі скріплення іонів, що приводить до утворення малорозчинних речовин (осаду або газів) або молекул слабких електролітів:



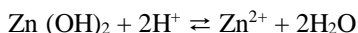
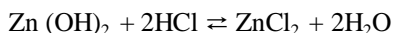
У випадках, коли малорозчинні речовини є як серед початкових речовин, так і серед продуктів реакції, рівновага зміщується у бік утворення якнайменше дисоціюючих речовин.

Приклад: нейтралізація слабкої кислоти сильною основою:



Рівновага зміщується вправо у бік утворення більш слабого електроліту – води.

Нейтралізація слабкої основи сильною кислотою:

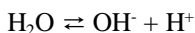
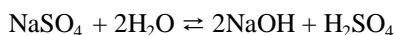


Рівновага зміщується вправо, тому що вода є більш слабким електролітом. На підставі розглянутих прикладів можна зробити загальний висновок.

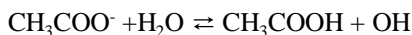
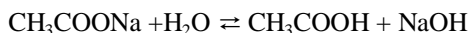
Обов'язковою умовою перебігу реакцій між електролітами є видалення з розчину тих чи інших іонів – наприклад, внаслідок утворення слабо дисоціюючих речовин або речовин, що виділяються з розчину у вигляді осаду або газу. Інакше кажучи, реакції в розчинах електролітів йдуть у бік утворення якнайменше дисоціюючих або якнайменше розчинних речовин.

Гідролізом називається взаємодія речовини з водою, при якій складові частини речовини з'єднуються з складовими частинами води.

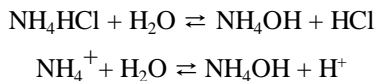
Солі, утворені сильною кислотою і сильною основою, гідролізу не піддаються, оскільки нейтралізація в цьому випадку зводиться:



а дисоціація молекули води на іони протікає в незначній мірі. Гідроліз солі, утвореною слабкою кислотою і сильною основою:



Таким чином, розчини солей, утворених слабкою кислотою і сильною основою, мають лужну реакцію. Гідроліз солі, утвореної слабкою основою і сильною кислотою:



Розчини солей, утворених слабкою основою і сильною кислотою, мають кислу реакцію.

Для випадку солі, утвореної слабкою кислотою і сильною основою, константа гідролізу пов'язана з константою дисоціації кислоти $K_{\text{кисл.}}$ залежністю:

$$K_2 = K_{\text{H}_2\text{O}}/K_{\text{кисл.}}, \quad (4.25)$$

де, $K_{\text{H}_2\text{O}}$ – іонний добуток води.

Чим слабша кислота, тим більшою мірою піддаються гідролізу її солі.

Чим слабша основа, тим більшою мірою піддаються гідролізу утворені ними солі.

Для солей, утворених слабкою кислотою і слабкою основою, константа гідролізу має вигляд:

$$K_{\Gamma} = K_{\text{H}_2\text{O}}/K_{\text{кисл.}} \cdot K_{\text{осн.}} \quad (4.26)$$

Ступенем гідролізу h називається частка електроліту, що піддалася гідролізу. Вона пов'язана з константою гідролізу K_{Γ} рівнянням

$$K_{\Gamma} = (h^2 \cdot C_{\text{M}}) / (1 - h). \quad (4.27)$$

Оскільки частина солі, що гідролізована дуже мала, а концентрація продуктів гідролізу незначна, то $h \ll 1$ і одержуємо $K_{\Gamma} = h^2 C_{\text{M}}$ або $h = \sqrt{K_{\Gamma}/C_{\text{M}}}$.

Таким чином, ступінь гідролізу тим більше, чим менше її концентрація.

При гідролізі солей, утворених слабкою багатоосновною кислотою константа гідролізу по першому ступеню $K_{\Gamma,1}$ пов'язана з

другою константою дисоціації кислоти, а константа гідролізу по другому ступеню $K_{г,2}$ – з першою константою дисоціації кислоти.

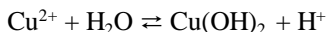
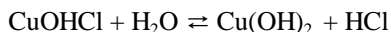
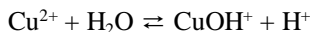
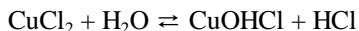
$$K_{г,1} = K_{H_2O} / K_{2, \text{кисл.}}$$

$$K_{г,2} = K_{H_2O} / K_{1, \text{кисл.}}$$

$$K_{г,1} > K_{г,2}$$

З цієї причини гідроліз за першим ступенем завжди протікає більшою мірою, ніж за другим.

Аналогічно протікає гідроліз солі, утвореної слабкою основою багатовалентного металу:



Гідроліз за другим ступенем протікає в нікчемно малій мірі. Особливо глибоко протікає гідроліз солей, утворених слабкою кислотою і слабкою основою.

Якщо в розчин солі, що гідралізується ввести реактив, що зв'язує іони H^+ або OH^- , що утворюються при гідролізі, то відповідно до принципу Ле-Шательє рівновага зміщується у бік посилення гідролізу; в результаті гідроліз може протікати повністю – до утворення кінцевих продуктів.

Рівновага гідролізу може бути зміщена також зміною температури. Оскільки зворотний до гідролізу процес – реакція нейтралізації – протікає з виділенням теплоти, то реакція гідролізу – ендотермічний процес. Тому підвищення температури веде до посилення гідролізу, а пониження – до його ослаблення.

Контрольні питання до розділу 4

1. Розкрити поняття розчину як різновид дисперсних систем. Класифікація розчинів.
2. Охарактеризувати способи вираження концентрації розчинів.
3. Що собою являє поняття гідролізу, константа та ступінь гідролізу?
4. Пояснити роль розчинника в процесі електролітичної дисоціації електролітів.
5. Навести визначення кислот, основ і солей з точки зору

електролітичної дисоціації та показати це за допомогою рівнянь дисоціації.

6. Перерахувати умови, за яких реакції в розчинах проходять до кінця. Навести приклад.

РОЗДІЛ 5 ОКИСНО-ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ

5.1 Поняття про ступінь окиснення елементів. Окисно-відновні реакції і їх типи

Ступінь окиснення або окисне число – це заряд атома або іона елемента в сполуці, визначений як кількість електронів, зміщених від одного атома до інших (при позитивному окисненні) або до одного атома від інших (при негативному окисненні).

Ступінь окиснення елемента в з'єднанні визначається виходячи з таких положень:

- ступінь окиснення елементів в простих речовинах дорівнює нулю;

- в нейтральних молекулах сума ступенів окиснення атомів дорівнює нулю;

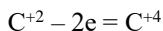
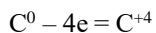
- ступінь окиснення лужних металів дорівнює (+1), металів головної підгрупи II групи, цинк і кадмій (+2);

- водень має ступінь окиснення (+1), за винятком гідридів металів, таких як NaH, CaH₂;

- ступінь окиснення кисню в сполуках дорівнює (-2), за винятком пероксидів (-1) і фториду кисню (+2), озону (+4).

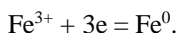
Ступінь окиснення часто не співпадає з валентністю (N⁻³ H₄)⁺.

Окисно-відновними називаються такі реакції, в результаті яких змінюється ступінь окиснення одного або декількох елементів, що входять до складу реагуючих речовин. Процес віддачі атомом, молекулою або іоном електронів, що супроводжується підвищенням ступеня окиснення, називається окисненням



Атоми, молекули або іони, що віддають електрони називаються **відновниками**.

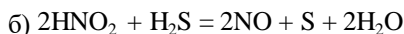
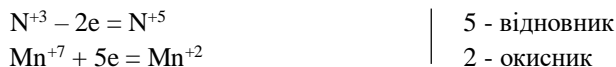
Процес приднання електронів атомом, молекулою або іоном, що супроводжується підвищенням ступеня окиснення, називається **відновленням**, а частинки – окисниками.



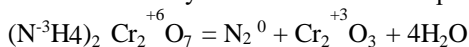
Окислювально-відновні реакції діляться на міжмолекулярні, внутрішньомолекулярні і реакції самоокислення – самовідновлення (диспропорціювання).

Міжмолекулярні властиві елементам, які можуть мати, як вищий, так і нижчий ступінь окислення в сполуках, де даний елемент проявляє проміжний ступінь окиснення і здатністю вступати в реакції, як з окисниками, так і з відновниками.

Приклад:



Внутрішньомолекулярні реакції – це реакції, коли в одному з'єднанні відбувається зміна ступеня окиснення біля різних атомів.



Реакції диспропорціювання – реакції, коли відбувається зміна ступеня окиснення біля одного елемента, що має проміжний ступінь окислення в ході реакції, частина окислюється, а друга частина відновлюється.



5.2 Найважливіші окисники і відновники. Складання рівнянь окисно-відновних реакцій

Найважливіші окисники:

1. Типові неметали (F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 , O_2) в елементарному стані, відновлюючись до ступеня окиснення (-1), кисень – до (-2)

2. Кисневмісні кислоти і їхні солі ($\text{H}_2\text{SO}_{4\text{конц}}$, $\text{HNO}_{3\text{конц}}$), $\text{K}_2\text{Mn}^{+6}\text{O}_4$, $\text{K}_2\text{Mn}^{+7}\text{O}_4$, $\text{K}_2\text{Cr}^{+6}\text{O}_4$, $\text{K}_2\text{Cr}^{+2}\text{O}_7$ і оксид Mn^{+4}O_2

3. Кисневмісні кислоти галогенів і їхні солі (HClO, HClO₄).
4. Елементом-окисником у соляній кислоті і розбавленій сульфатній кислоті є гідроген, в нітратній – нітроген, в концентрованій сульфатній – сульфур.

Найважливіші відновники:

1. Серед елементарних речовин – активні елементи. Метали (лужні, лужноземельні, Zn, Al, Fe та ін.), водень, вуглець, фосфор, кремній.
2. У безкисневих кислотах (HCl, HBr, HI, H₂S) і їх солях носіями відновної функції є аніони.
3. Гідриди лужних і лужноземельних металів.
4. Метали в низькому ступені окислення (іони Sn²⁺, Fe²⁺, Cu⁺¹).
5. Складання рівнянь окислювально-відновних реакцій методом електронного балансу засновано на порівнянні ступенів окислення атомів в початкових і кінцевих речовинах. Основна вимога – число електронів, відданих відновником, повинне дорівнювати числу електронів, приєднаних окисником. Якщо необхідно, то для зрівнювання числа відданих і прийнятих електронів, вводяться додаткові множники, які є коефіцієнтами в рівнянні реакції.



Рисунок 5.1 – Процеси окиснення та відновлення.

При складанні рівнянь дотримуються наступної послідовності:

1. Записують формули початкових і кінцевих речовин з вказівкою ступенів окиснення частинок, що змінили ступінь окислення;

2. Знаходять окисник і відновник;
3. Складають рівняння електронного балансу;
4. З рівняння електронного балансу знаходять коефіцієнти для відновника і окисника;
5. Зрівнюють метали;
6. Зрівнюють неметали (кислотні залишки), окрім гідрогену і кисню;
7. Зрівнюють гідроген;
8. Зрівнюють кисень.

Правильність складеного рівняння перевіряють підрахунком числа атомів кожного елемента в лівій і правій частинах, яке повинне бути однаковим.

Контрольні питання до розділу 5

1. Які реакції називають окисно-відновними?
2. Які процеси відбуваються під час окиснення та відновлення елементів?
3. На чому базується метод електронного балансу при складанні рівнянь окисно-відновних реакцій?
4. Для добування яких речовин використовуються окисно-відновні реакції? Описати процес.
5. Що впливає на процес іонного обміну?

РОЗДІЛ 6 ОСНОВИ ЕЛЕКТРОХІМІЇ

6.1 Ряд напруг металів. Електроліз

Якщо зі всього ряду стандартних електродних потенціалів виділити тільки ті електродні процеси, які відповідають рівнянню:



то вийде ряд напруг металів. В цей ряд, окрім металів, поміщається водень. Це дозволяє встановити які здатні витіснити водень з розчинів кислот. Положення того або іншого металу у ряді напруг характеризує його здібність до окислювально-відновних дій в розчинах за стандартних умов.



Рисунок 6.1 – Електрохімічний ряд напруг металів

Іони металів є окислювачами, а метали – відновниками. При цьому, чим далі розташований метал у ряді напруг від водню, тим більше сильним окислювачем в розчині є його іони.

На поверхні деяких металів утворюються захисні плівки, які сповільнюють реакції. Явище значного гальмування окиснення металу, обумовлене наявністю на його поверхні захисних оксидних або сольових плівок, називається **пасивністю**.

Метали здатні витіснити один одного з розчинів солей. Напрямок реакції визначається при цьому їх взаємним положенням у ряді напруг. Метал, розташований ліворуч в ряду, заміщає метал, який стоїть правішим біля його солі. Витіснення металів з їх з'єднань іншими металами детально вивчав Бекетов.

Взаємне положення деяких металів у ряді напруг і в періодичній системі не зовсім відповідає один одному.

На відміну від періодичної системи елементів, ряд напруг металів не є відзеркаленням загальної закономірності, на основі якої можна давати різносторонню характеристику хімічних властивостей металів. За міру хімічної активності приймається робота перетворення металу, що знаходиться в твердому поляганні, в гібридизовані іони у водному

розчині. Ця робота складається з енергії атомізації, іонізації і гібридизації. Лише енергія отримання атомів – відриву від них валентних електронів – безпосередньо визначається його положенням в періодичній системі елементів. Ряд напруг характеризує лише окислювально-відновну здатність електрохімічної системи «метал – іон металу» у строго визначених умовах; приведені в ньому величини відносяться до водного розчину, температурі 25⁰C і одиничної концентрації (активності) іонів металу.

Електроліз

Електроліз означає розкладання електрикою. Електролізом називають сукупність процесів, що відбуваються при проходженні постійного електричного струму через систему, що складається з розчину або розплаву електроліту і двох електродів. Ці процеси складаються з направленого руху іонів, що знаходяться в розчині (або розплаві) електроліту, і реакцій відновлення і окиснення, що відбуваються на електродах.

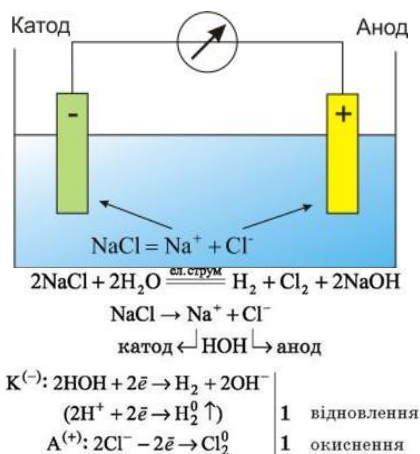


Рисунок 6.2 – Процеси електролізу в розчині NaCl

При електролізі хімічна реакція здійснюється за рахунок енергії електричного струму, що підводиться ззовні, тоді як при роботі гальванічного елемента енергія мимовільно протікаючої в ньому хімічної реакції перетворюється на електричну енергію. Для здійснення електролізу до (-) полюс зовнішнього електричного джерела приєднують електрод, на якому відбуватиметься реакція відновлення (тобто катод), а (+) полюс – електрод, на якому відбуватиметься реакція окиснення (тобто анод) і занурюють їх в розчин (розплав) електроліту.

При включенні постійного електричного струму катіони, що знаходяться в розчині (реактиві) електроліту, починають рухатися до (-) зарядженого катода, а аніон до (+) зарядженого анода. При досягненні катіонами поверхні катода на ній відбувається процес відновлення (приєднання електронів). Таким чином, катодний процес зводиться до розрядки катіонів, що знаходяться в електроліті. На відміну від цього анодні процеси можуть відбуватися по різному залежно від матеріалу анода і роду електроліту.

У разі нерозчинного анода процес окиснення полягає у віддачі аноду електронів аніонами, які перетворюються на нейтральні атоми і молекули.

У разі розчинного анода, то саме він і піддається окисненню, яке полягає в розщеплюванні атомів матеріалу анода на електрони, які йдуть в зовнішню мережу, і катіони, які поступають в розчин.

Характер катодних реакцій при електролізі водних розчинів визначається положенням катіона у ряді стандартних електродних потенціалів. Чим більш негативний електродний потенціал металу, тим важче йде відновлення його іонів на катоді. Можливі три види реакцій, що протікають при електролізі на катоді:

1. Електродний потенціал металу має (+) значення (Cu, Ag), його іони повністю відновлюються;

2. Електродний потенціал металу має (-) значення, але не нижче -1В (Fe, Zn і ін.), його іони відновлюються одночасно з іонами водню, утвореного молекулами води;

3. При (-) значеннях електродного потенціалу відновлюються на катоді тільки іони водню, утвореного молекулами води.

Якщо водний розчин містить катіони різних металів, то відновлюються ті, які відповідають найбільш (+) значення електродного потенціалу. Аналогічно, при переході з анода в розчин яких-небудь (+) іонів легше переходитимуть в розчин ті з них, яким відповідають найбільш негативні значення електродного потенціалу. При електролізі водних розчинів лугів кисневмісних кислот і їх солей, а також HF і фторидів відбувається на інертному аноді електрохімічне окиснення води з виділенням кисню. При електролізі водних розчинів безкисневих кислот і їх солей (окрім HF і фторидів) біля інертного анода розряджаються аніони.

6.2 Застосування електролізу в промисловості. Поняття корозії металів

Електроліз – один з поширених в технології процесів. За допомогою електролізу розчинів одержують алюміній, магній, натрій, літій, берилій і кальцій. Електроекстракцією на катоді з розчинів солей одержують Zn, Cu і Cd. В хімічній промисловості одержують водень, хлор та ін. речовини.

Електролітичне рафінування застосовують для очищення металів від домішок.

До гальванотехніки відносяться гальваностегія і гальванопластика, електрополірування і оксидування.

Гальваностегія – це нанесення за допомогою електролізу на поверхню металевих виробів шарів інших металів для захисту від корозії і надання їм естетичного вигляду: нікелювання, хромування тощо.

Гальванопластика – отримання точних металевих копій з рельєфних предметів електроосадженням металу. Наприклад, матриці для пресування грамофонних пластинок.

Електрополірування – це процес при якому, використовується анодне травлення в електроліті металевих поверхонь, що попередне оброблені механічним шляхом, які доводять до дзеркального блиску, оскільки мікровиступи піддаються розчиненню швидше.

Оксидування – анодна обробка металу, в ході якої змінюється структура оксидної плівки на його поверхні.

Металеві матеріали перебуваючи в зіткненні з навколишнім середовищем піддаються руйнуванню. Причина руйнування лежить в хімічній взаємодії: метали вступають в окислювально-відновні реакції з речовинами, що знаходяться в навколишньому середовищі і окиснюються.

Мимовільне руйнування металевих матеріалів, що відбувається під хімічною дією навколишнього середовища, називається **корозією**.

До найважливіших випадків корозії відносяться корозія в газах і корозія в розчинах електролітів (електрохімічна корозія).

Корозія в газах відбувається при підвищених температурах, коли конденсація вологи на поверхні металу неможлива. Газовій корозії піддаються арматура печей, деталі двигунів внутрішнього згоряє, метал піддається термічній обробці і т.п.

У результаті газової корозії на поверхні металу утворюються оксиди, сульфіди та ін. з'єднання.

Захист – жаростійкі сплави, нанесення на поверхню виробу деяких металів, що володіють захисною дією. Це алюміній - алітування, хром – хромування.

До електрохімічної корозії відносяться всі випадки корозії у водних розчинах. В результаті електрохімічної корозії окислення металу приводить як до утворення нерозчинних продуктів (іржа), так і до переходу металу в розчин у вигляді іонів.

У воді міститься розчинний кисень: $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$ і іони водню: $2H^+ + 2e = H_2$ здатні до відновлення.

Таким чином, розчинний кисень і іони водню – найважливіші окиснювачі, що викликають електрохімічну корозію металів.

Кисень може окиснювати ті метали, потенціал яких менше 0,8 В, це метали розташовані у ряді напруг до срібла.

Іони водню, що знаходяться у воді окисляють метали, потенціал яких менше – 0,41 В, тобто до кадмію.

Швидкість корозії підвищується при включенні в нього різних домішок, потенціал яких вище за потенціал основного металу. Так, включення оксидів і шлаків в сталі сильно знижує її корозійну стійкість. До найважливіших випадків електрохімічної корозії відносяться атмосферна корозія, корозія в ґрунті, корозія при нерівномірній аерації (обмивання повітрям, киснем), контактна корозія.

Для попередження корозії і захисту від неї застосовуються наступні методи:

- вживання хімічно стійких сплавів;
- розробка корозійного середовища;
- захист поверхні металу покриттями;
- електрохімічні методи.

6.3 Хімічні джерела електричного струму

Для перетворення хімічної енергії в електричну та появи електричного струму необхідно, щоб виконувалися такі умови:

- просторове розділення процесів окиснення та відновлення;
- помітна різниця між значеннями електродних потенціалів відновника і окисника;
- наявність межі поділу між іонним і електронним провідниками;
- замкнене коло.

Хімічне джерело електричного струму (ХДЕС) – це пристрій, в якому хімічна енергія окисно-відновної реакції безпосередньо перетворюється в електричну. Основою будь-якого ХДЕС є гальванічна комірка. **Гальванічна комірка** – це система, складена із двох

сполучених між собою електродів (анода і катода), які контактують з іонопровідним матеріалом – електролітом. Залежно від конструкційних особливостей ХДЕС поділяються на групи:

– первинні, або власно гальванічні елементи, що можуть використовуватися лише один раз, оскільки в основі їх роботи лежить необоротна окисно-відновна реакція;

– акумулятори – вторинні джерела струму, працездатність яких відновлюється багаторазово за допомогою зовнішнього джерела струму (зарядного пристрою);

– паливні елементи (або електрохімічні генератори) – пристрої, що по суті нагадують гальванічні елементи, але відрізняються від них тим, що речовини для електрохімічної реакції подаються в них ззовні, а продукти реакції видаляються, що дозволяє їм функціонувати безперервно. Слід зазначити, що поділ хімічних джерел електричного струму на гальванічні елементи і акумулятори певною мірою є умовним, тому що деякі гальванічні елементи (наприклад, лужні батарейки) здатні піддаватися підзарядці, однак ефективність цього процесу дуже низька.

Гальванічні елементи

Гальванічний елемент – хімічне джерело електричного струму, названий на честь Луїджі Гальвані. Принцип дії гальванічного елемента ґрунтується на взаємодії двох металів через електроліт, яка приводить до виникнення у замкнутому ланцюгу електричного струму. Отже, гальванічний елемент містить дві пластини з різних металів, сполучених між собою дрітним провідником і занурених у розчин електроліту. Така схема дозволяє просторово розділити напівреакції окиснення і відновлення, що відбуваються на поверхні поділу фаз метал-електроліт, на якій утворюється подвійний електричний шар. **Гальванічний елемент** – це хімічне джерело електричного струму, що складається з однієї гальванічної комірки.

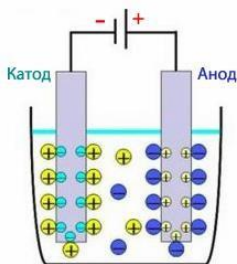


Рисунок 6.3 – Гальванічний елемент і схема утворення подвійного електричного шару на електродах

Щоб визначити, який електрод у гальванічному елементі відіграє роль анода, а який - катода, необхідно порівняти значення електродних потенціалів відповідних електрохімічних систем. Окисно-відновна реакція самочинно перебігає у тому напрямку, при якому електрохімічна система з більшим значенням електродного потенціалу є окисником. Отже, катодом (окисником) є електрод, виготовлений з менш активного металу, електродний потенціал якого має більш додатне значення, – саме тому катод у схемах гальванічних елементів позначається знаком плюс. І навпаки, анодом (відновником) є електрод, виготовлений з більш активного металу, у якого електродний потенціал має більш від'ємне значення, тому анод позначається знаком мінус. Для прикладу розглянемо **гальванічний елемент Якобі-Даніеля** (який складається з цинкової та мідної пластин, занурених у розчини відповідно ZnSO_4 і CuSO_4 концентрацій 1 моль/л. Для запобігання перемішуванню розчини розділені напівпроникною поруватою перегородкою, через яку можуть проходити йони, але не проникають молекули розчинника (H_2O). Часто замість мембрани застосовується електролітний (сольовий) місток, через який йони можуть перемішуватися з одного електроліту в інший.

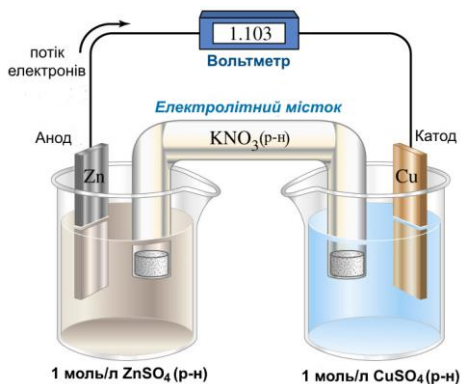
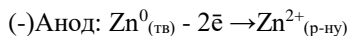


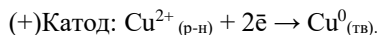
Рисунок 6.4 – Гальванічний елемент Якобі-Даніеля

Якщо коло замкнути, то завдяки різниці потенціалів: ($\varepsilon^0\text{Zn}^{2+}/\text{Zn} = -0,76\text{ В}$, $\varepsilon^0\text{Cu}^{2+}/\text{Cu} = +0,34\text{ В}$) частина електронів переходить з більш активного цинку на менш активну мідь. Це спричиняє порушення подвійного електричного шару одночасно і на цинковому аноді (його потенціал підвищується), і на мідному катоді (потенціал зменшується). Однак обидві електрохімічні системи Zn^{2+}/Zn і Cu^{2+}/Cu знов прагнуть до

стану рівноваги, який досягається за рахунок окиснення атомів цинку на аноді



і відновлення іонів купруму(II) із розчину на катоді



Внаслідок перебігу обох напівреакцій зберігається різниця потенціалів між електродами і виникає постійний електричний струм – напрямлений рух електронів у зовнішньому ланцюгу від анода до катода.

Атоми цинку з поверхні електрода внаслідок окиснення перетворюються на йони і, гідратуючись, переходять у прианодний розчин, який повинен заряджатися позитивно. З іншого боку, катіони Cu^{2+} , що містяться у прикатодному розчині, переміщуються до катода і відновлюються на ньому, тому за рахунок надлишкової, некомпенсованої кількості іонів SO_4^{2-} цей розчин має заряджатися негативно. Однак насправді цього не відбувається, оскільки електронейтральність розчинів забезпечується переходом іонів SO_4^{2-} через сольовий місток (чи через порувату перегородку – мембрану) з прикатодного простору в прианодний, тобто у напрямку, протилежному рухові катіонів Zn^{2+} і Cu^{2+} .

Схема гальванічного елемента Якобі-Даніеля зображується за допомогою умовного запису:



де однією вертикальною рисою позначається межа поділу між електродом і електролітом, а двома – між розчинами солей. За необхідності на таких схемах зазначаються концентрації розчинів електролітів, особливо якщо $C_{(\text{електроліта})} \neq 1$ моль/л.

Електричний струм, що проходить по зовнішньому колу гальванічного елемента, може виконувати роботу, яка набуває максимального значення при оборотному перебігу процесу. Для одного моля речовини максимальна корисна робота A_{max} залежить від електрорушійної сили (ЕРС):

$$A_{\text{max}} = z \cdot F \cdot E, \quad (6.2)$$

де, E – **електрорушійна сила гальванічного елемента**, тобто максимальне значення напруги гальванічного елемента, яке відповідає оборотному перебігу реакції, z – кількість електронів, що беруть участь в елементарному акті окиснення-відновлення, F – стала Фарадея.

З іншого боку, за умов сталих температури і тиску максимальна корисна робота дорівнює взятій з протилежним знаком енергії Гіббса ($A_{\max} = -\Delta G$), тому

$$\Delta G = -z \cdot F \cdot E \quad (6.3)$$

Якщо концентрації (точніше, активності) всіх речовин, що беруть участь в електрохімічному процесі, дорівнюють 1 моль/л, то за стандартних умов ЕРС елемента називається стандартною електрорушійною силою. Тоді рівняння набуває вигляду

$$\Delta G^0 = -z \cdot F \cdot E^0 \quad (6.4)$$

Зважаючи на те, що стандартна енергія Гіббса реакції пов'язана з константою рівноваги співвідношенням і з'являючи рівняння, отримаємо зв'язок між стандартною ЕРС гальванічного елемента і константою рівноваги електрохімічного процесу:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K \quad (6.5)$$

звідки можна знайти стандартну електрорушійну силу:

$$E^0 = \frac{RT}{z \cdot F} \ln K \quad (6.6)$$

Електрорушійна сила гальванічного елемента завжди додатна, її можна розрахувати за формулою

$$E = \varepsilon_{\text{К}} - \varepsilon_{\text{А}} \quad (6.7)$$

де, $\varepsilon_{\text{К}}$ і $\varepsilon_{\text{А}}$ – електродні потенціали катода і анода відповідно.

Якщо гальванічний елемент працює у стандартних умовах ($P=10^5$ Па, $T=298\text{К}$, $C_{\text{(електроліта)}}=1\text{моль/л}$), то його електрорушійна сила називається стандартною ЕРС:

$$E^0 = \varepsilon^0_{\text{К}} - \varepsilon^0_{\text{А}} \quad (6.8)$$

Величина ЕРС гальванічного елемента залежить як від матеріалу електродів, так і від природи електроліту. З рівняння Нернста, перетвореного для розрахунків величини електродного потенціалу

металу ($\varepsilon^0 = (RT/zF) \cdot \ln[Me^{z+}]$), впливає, що потенціал металевого електрода залежить від концентрації йонів $[Me^{z+}]$ у розчині електроліту. Отже, і ЕРС гальванічного елемента теж залежить від концентрації. На цьому базується дія концентраційних гальванічних елементів.

Гальванічний елемент, складений з електродів одного і того самого металу, занурених у розчині солі цього металу різних концентрацій, називається концентраційний гальванічний елемент.

У концентраційному гальванічному роль анода відіграє електрод, занурений у більш розведений розчин, а катода – той, що знаходиться у розчині вищої концентрації. У схемах таких елементів обов'язково зазначаються концентрації (моль/л) розчинів солей, наприклад:

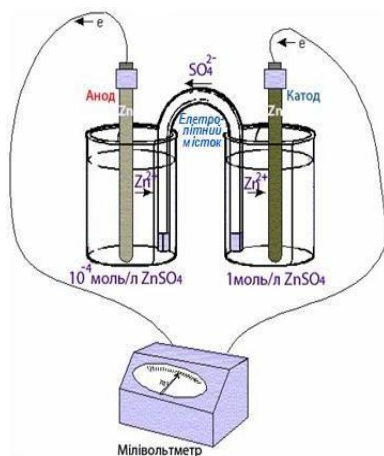
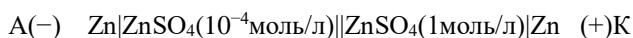


Рисунок 6.4 – Концентраційний гальванічний елемент

Виведемо формулу для обчислення ЕРС концентраційного гальванічного елемента з урахуванням рівняння Нернста:

$$E = \varepsilon_K - \varepsilon_A = \left(\varepsilon^0 + \frac{0.059}{z} \lg [Me^{m+}]_{\text{катод}} \right) - \left(\varepsilon^0 - \frac{0.059}{z} \lg [Me^{m+}]_{\text{анод}} \right) =$$

$$= \frac{0.059}{z} \lg \frac{[Me^{m+}]_{\text{катод}}}{[Me^{m+}]_{\text{анод}}}$$

Акумулятори

Акумулятор (від лат. *accumulatio* – накопичення) – пристрій для накопичення енергії за рахунок оборотного хімічного процесу з метою подальшого використання.

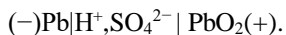
Акумулятор – це прилад тривалого багаторазового використання, в якому під дією зовнішнього джерела струму накопичується хімічна енергія, здатна перетворюватися в електричну.

Процес перетворення хімічної енергії в електричну при роботі акумулятора називається **розрядка акумулятора**, при цьому акумулятор поводить себе як гальванічний елемент. Зарядка акумулятора – це накопичування хімічної енергії при пропусканні через систему зовнішнього електричного струму.

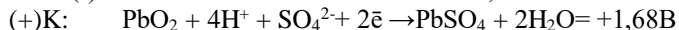
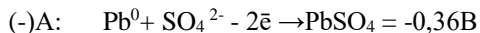
У процесі зарядки акумулятор працює як електролізер, а реагенти у ньому піддаються регенерації. Здатність до регенерації забезпечується підбором таких речовин, які в окисненій та відновленій формах фактично не розчиняються в електроліті, завдяки чому продукти регенерації осаджуються на тих електродах, на яких вони утворилися. Тому в акумуляторі продукти реакції не змішуються і цілісність електродів не порушується.

Найбільше практичне значення одержали свинцеві акумулятори, які іноді називають кислотними, оскільки в них використовується сульфатна кислота.

При роботі, тобто під час розрядки цього типу акумуляторів роль анода виконує негативно заряджений електрод із свинцевих перфорованих пластин, заповнених губчастим свинцем, а катода – позитивно заряджений електрод із PbO₂. Схема гальванічного елемента, що утворюються при роботі акумулятора:



Коли відбувається розрядка, на аноді проходить окиснення, а на катоді – відновлення:



Як видно з рівняння розрядки, і анод, і катод покриваються плівкою плюмбум(II) сульфату, при цьому витрачається сульфатна кислота і одночасно утворюється вода (що приводить до зменшення густини розчину електроліту).

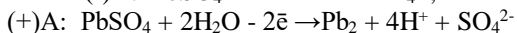
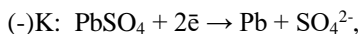
Електрорушійна сила акумулятора, як і будь-якої електрохімічної системи, визначається різницею між потенціалами катода і анода:

$$E = \varepsilon_{\text{PbO}_2/\text{PbSO}_4} - \varepsilon_{\text{PbSO}_4/\text{Pb}} = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a^4(\text{H}^+) \cdot a^2(\text{SO}_4^{2-})}{a^2(\text{H}_2\text{O})}$$

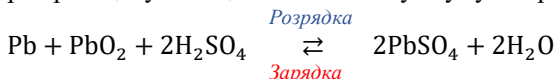
де, E^0 – стандартна ЕРС, що дорівнює

$$E^0 = \varepsilon^0_{\text{PbO}_2/\text{PbSO}_4} - \varepsilon^0_{\text{PbSO}_4/\text{Pb}} = 1,68 - (-0,36) = 2,02 \text{ В}$$

Коли напруга на електродах спадає до 1,8 В, акумулятор вважається розрядженим. При його зарядці полярність електродів не змінюється, але реакції перебігають у зворотному напрямку: негативний електрод, що при розрядці був анодом, тепер стає катодом, на ньому відбувається реакція відновлення. І навпаки, позитивний електрод, який був катодом, під час зарядки відіграє роль анода і окиснюється:



Сумарна реакція у свинцево-кислотному акумуляторі:

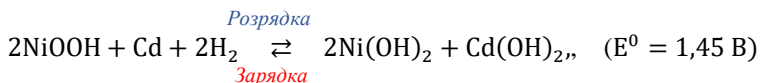


У процесі зарядки акумулятора вода «витрачається» на утворення H_2SO_4 , тому підвищується густина електроліту. Зростання концентрації сульфатної кислоти приводить до збільшення ЕРС, яка залежить від концентрації (точніше, активності). Здавалось би, можна підвищити ЕРС свинцевого акумулятора, використовуючи більш концентровані розчини H_2SO_4 . Однак при збільшенні концентрації кислоти знижується її електрична провідність і одночасно покршується розчинність самого свинцю, тому оптимальними вважаються 32-39% розчини H_2SO_4 ($\rho = 1,24-1,30$ г/мл).

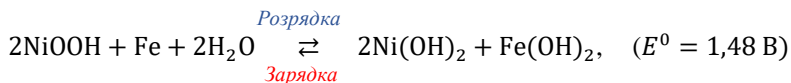
Під час зарядки на акумулятор подається напруга, яка перевищує ЕРС. У міру перебігу процесу вона поступово зростає, досягаючи значень, достатніх для електролізу води, який супроводжується різким стрибком напруги (до 2,5-2,7 В) і виділенням бульбашок газу (H_2 на катоді та O_2 на аноді). Це і свідчить про закінчення зарядки.

У лужних акумуляторах електролітом є розчин КОН. Серед них найбільш поширеними є такі типи:

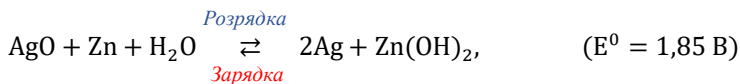
- нікель-кадмієві



- нікель-залізни



- срібно-цинкові



Акумулятори використовуються для живлення автокар, апаратури зв'язку, радіоприймачів, магнітофонів та електронних приладів. До найбільш поширених належать кислотні (наприклад, автомобільні) та «сухі» (для портативних комп'ютерів, сотових телефонів і т. і.) акумулятори, в яких електроліт або загерметизований, або зв'язаний твердим матеріалом, або перебуває в гелеподібному стані. Серед побутових акумуляторних елементів найчастіше зустрічаються три типи: нікель-кадмієві, нікель-металгідридні та літій-іонні. Однак останнім часом через велику токсичність кадмію нікель-кадмієві акумулятори стали менше застосовуватися.

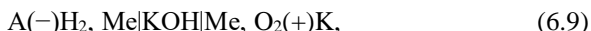
Паливні елементи

Паливний елемент являє собою електрохімічний пристрій, деякою мірою подібний до гальванічного елемента, але з тією різницею, що речовини для електрохімічної реакції подаються в нього ззовні. Тому електрична енергія в паливних елементах виробляється протягом тривалого часу – на відміну від обмеженої кількості енергії в гальванічному елементі чи акумуляторі. Ще однією відмінністю від одноразових гальванічних елементів (в яких електричний струм зникає разом з припиненням електрохімічної реакції) є велика працездатність паливного елемента, яка теоретично може зберігатися як завгодно довго – до тих пір, поки в нього подаються реагенти і відводяться продукти реакції.

Паливні елементи – це гальванічні елементи, в яких електрична енергія утворюється за рахунок хімічної енергії відновника (палива) і окисника, що безперервно і окремо надходять на електроди ззовні.

Найчастіше відновником на негативному електроді буває водень або гідразин N_2H_4 , а окисником на позитивному електроді – кисень чи повітря. Для прикладу розглянемо роботу

киснево-водневого паливного елемента з лужним електролітом, схема якого має вигляд



де, Me – металічний провідник першого роду, який відіграє роль каталізатора електродного процесу і відводить струм.

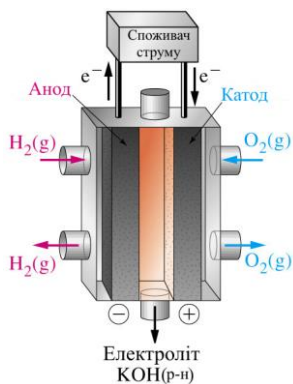
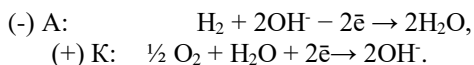


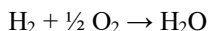
Рисунок 6.5 – Киснево-водневий паливний елемент

Зазвичай застосовують дрібнопоруваті нікелеві електроди з напиленими каталізаторами (Pt і Pd – на тому, через який дифундує H_2 , та Al і Co – на тому, через який дифундує O_2).

Електродні процеси у киснево-водневому паливному елементі протікають згідно з рівняннями:



При складанні анодної та катодної напівреакцій одержуємо сумарне рівняння процесу, що відбувається у киснево-водневому паливному елементі:



У зовнішньому коли електрони переміщуються, як і у будь-якому гальванічному елементі, від анода до катода, а у розчині, навпаки, переносники зарядів (гідроксильні йони OH^-) рухаються від катода до анода. Внаслідок перебігу хімічної реакції у ланцюгу генерується

постійний струм, а хімічна енергія перетворюється безпосередньо в електричну. Оскільки енергія Гіббса утворення води дорівнює -237 кДж/моль, можна розрахувати стандартну ЕРС киснево-водневого паливного елемента:

$$E^0 = -\frac{\Delta G^0}{zF} = -\frac{-237}{2 \cdot 96500} = 1,32\text{В}$$

Контрольні питання до розділу 6

1. Що таке електроліз?
2. Як використовується електроліз у промисловості?
3. Які електрохімічні параметри гальванічних елементів?
4. Які електрохімічні параметри акумуляторів?
5. Які електрохімічні параметри паливних елементів?

РОЗДІЛ 7

ВИРОБНИЦТВО НАФТОВИХ ПАЛИВ ТА ЇХ ХІМІЧНИЙ СКЛАД

7.1 Склад нафти. Парафіни, циклопарафіни й ароматичні вуглеводні

Горючі копалини нафтового ряду, до яких належать нафти і їх похідні, а також горючі гази називаються каустобіолітами. Слово «каустобіоліт» походить від декількох грецьких слів: «каустос» – горючий, «літос» – камінь, «біос» – життя, тобто горючий камінь біогенного генезису. Автор терміну «каустобіоліти» – німецький вчений Г. Потоньє (1908 р.).

Виникли каустобіоліти в результаті перетворень органічних речовин, першоджерелом яких були залишки живих організмів. Загальна спрямованість цих перетворень наступна:

– перетворення органічної речовини на земній поверхні або на дні водойм;

- накопичення відмерлих організмів;
- занурення в надра земної кори;
- збагачення органічної речовини вуглецем.

Всі горючі корисні копалини поділяються:

1. Каустобіоліти нафтового, або бітумного ряду. До них відносяться нафти, горючі вуглеводневі гази, асфальти, озокерит та інші.

2. Каустобіоліти вугільного, або гумусового ряду. До них відносяться сингенетичні породи і мінерали (торфи, вугілля, антрацити та інші).

3. Ліпобіоліти. До ліпобіолітів відносяться деякі органічні сполуки рослинного походження (природні смоли, воски, бурштин та інші.).

Основна хімічна відмінність членів нафтового і вугільного ряду полягає в співвідношенні вуглецю і водню С / Н, яке в нафтах варіює незначно – від 5,5 до 11,5, а в горючих копалинах вугільного ряду варіації значно вище – від 9,4 до 45.

За зовнішнім виглядом нафта – масляниста, найчастіше темна, рідина, флуоресціююча на світлі зі специфічним запахом. Кожна нафта має свій неповторний букет запахів. Нафта навіть віддалено не нагадує по запаху бензин або гас, з яким у нас асоціюється уявлення про неї. Аромат нафті надають супутні їй сірководень, залишки рослинних і тваринних організмів і т.п.

Нафта легша за воду, густина її може коливатися від 0,7 до 0,9 г/см³. Багатокомпонентний і складний склад нафти відбивається в надзвичайно великих діапазонах коливання її середньої відносної молекулярної маси.

Колір її залежить від вмісту і складу смолистих речовин. Зустрічаються іноді червоні, бурі і навіть майже безбарвні нафти. Кожна нафта має тільки її властивий колір: темно-зелена нафта, жовтувата нафта, рожева нафта, абсолютно чорна нафта.

Взаємна розчинність нафти і води незначна, однак при інтенсивному перемішуванні утворюються іноді дуже стійкі нафтові емульсії.

Нафта – складна суміш рідких вуглеводнів та гетероорганічних сполук (сірчистих, кисневих і азотистих з'єднань), в якій також розчинені тверді вуглеводні, смолисті речовини та газоподібні насичені вуглеводні. Свою назву нафта отримала від мідійського слова «нафата» (та що просочується, що випливає).

На відміну від інших видів горючих копалин, нафта відносно легко добувається, транспортується (по трубопроводах) і досить просто переробляється в широкую гаму продуктів різного призначення. Тому не дивно, що в більшості країн світу на нафту доводиться більше половини паливно-енергетичного комплексу.

У теперішній час нафта – основне джерело енергії в більшості країн світу. На паливах, отриманих з нафти, працюють двигуни сухопутного, водного й повітряного транспорту, піднімаються космічні ракети, виробляється електроенергія на теплових електростанціях.

Однак більш доцільний шлях використання нафти – її хімічна утилізація, як сировина для виробництва пластичних мас, каучуків, штучних волокон, поверхнево-активних речовин, добрив, отрутохімікатів і білків (рис. 7.1).

Економіка держав залежить від нафти більше, ніж від будь-якого іншого продукту. Тому нафта з початку її промислового видобутку й дотепер є предметом гострої конкурентної боротьби, причиною багатьох міжнародних конфліктів і війн. Більша частина нафти, що добувається у світі, (80-90 %) переробляється в різні види палива й мастильних матеріалів. Лише близько 10% йде на потреби хімічної промисловості. Розробка нових марок паливних, мастильних матеріалів та спеціальних рідин, які використовуються в сучасній і перспективній авіації, невід'ємно пов'язані з вивченням природи як готових продуктів, так і сировини, з якої їх виготовляють.

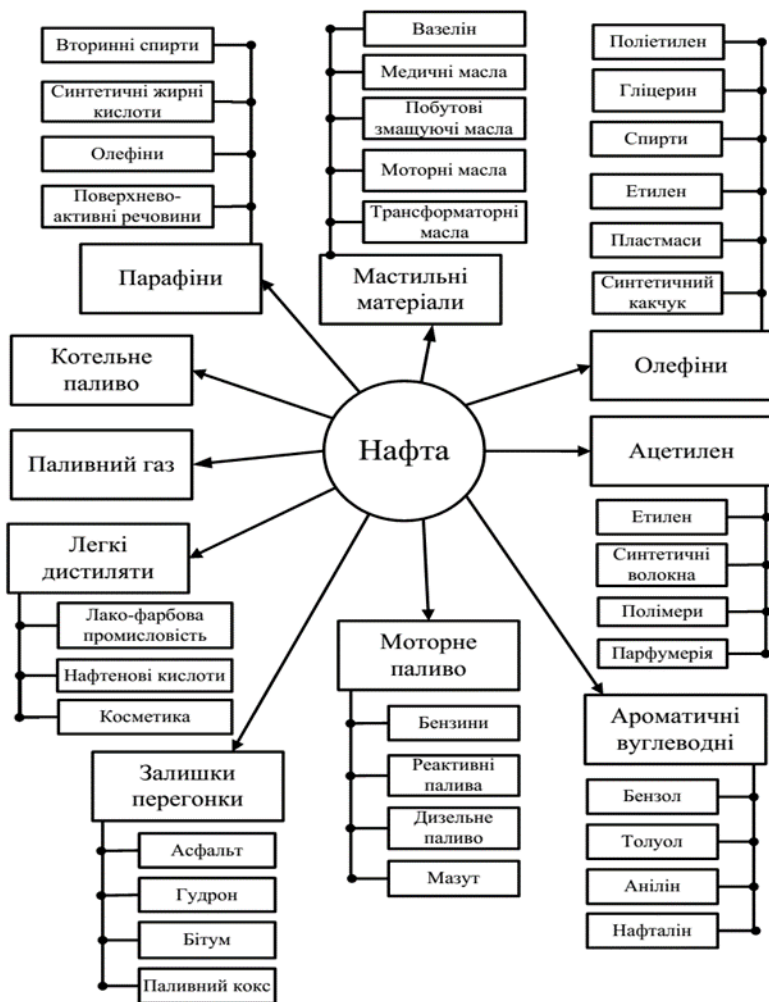


Рисунок 7.1 – Асортимент продуктів переробки нафти

Сьогодні існує безліч думок щодо майбутнього розвитку нафтовидобувної галузі, проте всі вони сходяться в одному – нафта є невідновлюваним енергоресурсом і в недалекому майбутньому людство постане перед проблемою неможливості забезпечити свої енергетичні потреби за рахунок нафти. Так, Міжнародне енергетичне агентство (IEA) прогнозує, що світових запасів нафти вистачить приблизно на 40-

45 років, природного газу – на 50-70 років, вугілля на 200-400 років. На думку деяких учених, людство буде забезпечене нафтою ще протягом найближчих 120 років, за більш оптимістичними прогнозами світових запасів нафти та природного газу вистачить ще приблизно на 250 років.

Вичерпання нафтових запасів веде до необхідності більш економічного використання нафти шляхом збільшення коефіцієнта нафтовіддачі, оптимізації процесів транспортування й збільшення глибини переробки нафти, раціонального застосування нафтопродуктів з обліком їхніх екологічних властивостей, що неможливо без всебічних фізико-хімічних досліджень сполук, структури й властивостей нафти.

7.2 Характеристика нафти в залежності від місцезнаходження. Гіпотези походження нафти

Звідки ж з'явилася нафта в земних надрах? Як вона утворилася? Це питання є одним з найбільш складних в світовій науці.

Історія нафти – не тільки хроніка подій відкриття і використання цієї корисної копалини, а й перелік спроб людини зрозуміти природу її походження.

Зараз важко назвати дати, коли люди вперше зіткнулися з нафтою. Швидше, це були найперші кроки цивілізації Землі, коли методом проб і помилок людина шукала для себе корисні речовини. Нафта давно відома людству. Її використовували у Вавилоні й Візантії як запальну суміш. У древньому Єгипті, Римі й міжріччі Тигру і Євфрату її застосовували як в'язкий і гідроізоляційний матеріал при будівництві доріг, акведуків і інших споруджень. З кінця XVIII століття продукт переробки нафти – гас стали використовувати для освітлення осель і вулиць, а з XIX століття, з винаходом двигунів внутрішнього згоряння, нафтопродукти стали основним видом палива для різних транспортних засобів.

Ймовірно, перше, що викликало інтерес до нафти, – це її в'язучі властивості. Її використовували як клей і як добавки до будівельних матеріалів. У гробницях Близького Сходу, в руїнах стародавніх цивілізацій Америки знаходять прикраси і різні конструкції, скріплені «нафтовим цементом».

Плутарх в хроніці завоювань Олександра Македонського описав, як воїни цього полководця вперше побачили в Прикаспії нафту. Це була, за словами літописця, густа і жирна рідина. Коли вичерпали поверхневий шар, з джерела забив чистий і світлий струмінь, який ні за запахом, ні на смак не відрізнявся від оливкової олії. У цьому «диві»

Олександр Македонський побачив одне з найбільших ознаменувань, коли-небудь отриманих ним від божества.

Археологічні розкопки показали, що на березі Євфрату нафта видобувалась ще 6–4 тис. років до н.е. Вона використовувалась для різноманітних цілей, у тому числі як ліки. Стародавні єгиптяни застосовували асфальт (окислену нафту) при бальзамуванні. Добували вони його, як повідомляє давньогрецький історик і географ Страбон (63 р. до н.е. – 23-34 рр. н.е.), переважно біля берегів Мертвого моря. Нафтові бітуми використовувалися для виготовлення будівельних розчинів і як мастило. Нафта була складовою частиною запалювальної суміші, що увійшла в історію під назвою «грецький вогонь». У народів, які населяли південне узбережжя Каспійського моря, нафта здавна застосовувалась для освітлення помешкань. Про це свідчить, зокрема, давньоримський історик Плутарх, який описав походи Олександра Македонського.

Ймовірно, з того дня, коли людина вперше зіштовхнулася з нафтою, вона стала її використовувати для освітлення житла, для приготування мазей; її зацікавило питання, що ж таке нафта і звідки вона з'явилася. Пройшли сотні років, але на це питання так і не знайдена відповідь.

Наука пройшла складний і довгий шлях – від алхімії стародавнього світу до комп'ютерів і атомних реакторів сьогодення, але на походження нафти до сих пір немає єдиного погляду.

Гіпотези походження нафти.

Сьогодні теоретичні погляди на цю проблему поляризуються в двох принципово різних точках зору – неорганічній та органічній теорії походження нафти (рис. 7.2).

Походження нафти й формування її покладів є протягом багатьох років однією з найбільш складних проблем сучасного природознавства. Крім чисто пізнавального аспекту ця проблема має велике практичне значення, тому що дозволяє свідомо підходити до завдання пошуку й розвідки нафтових родовищ і оцінці промислових і прогностичних її запасів.

В основі більшості цих гіпотез лежать матеріали, отримані в результаті узагальнення лабораторних дослідів. Процеси, що призводять до отримання нафтоподібних продуктів в лабораторії, ототожнювалися з процесами природи, тобто вважалося, що і в природі нафта утворюється в результаті таких же реакцій, що і в лабораторних умовах. Суть дослідів полягала в отриманні нафтоподібних продуктів за допомогою органічних або неорганічних з'єднань речовин.

До теперішнього часу ця проблема в основному з області здогадів і гіпотез переведена в науково аргументовану й в основних ланках розроблену теорію органічного походження нафти.

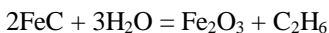
Найпоширеніша думка, що нафта органічного походження, як і вугілля. Вугілля утворювалося в прісноводних водоймах, а нафта в теплих водах на дні доісторичних морів. Утворення цих осадових порід відбувалося понад 600 млн років тому. Однак і зараз серед геологів і хіміків є прихильники різних варіантів гіпотези неорганічного походження нафти.

1. Гіпотеза неорганічного, мінерального (абіогенного) походження нафти – карбідна. Уперше її висловив Д. І. Менделєєв (1877 р.), він думав, що нафта утворилася з карбідів металів і парів води в умовах глибинних процесів, що відбуваються в земній корі при впливі високих тисків і температур. Внутрішність землі складається з розплавлених металів (в основному заліза), що містять деяку кількість вуглецю (карбіди). Розплавлене металеве ядро земної кулі покрито порівняно тонкою корою (літосферою). У літосфері також повинні залягати карбіди металів, причому як в твердому, так і в рідкому стані.



Рисунок 7.2 – Теорії та гіпотези походження нафти

По тріщинах, що утворилися в земній корі під час горотворних процесів, в глиб землі, до металевих мас проникала вода, яка діяла на метали, в результаті чого виходили оксиди металів і вуглеводні за реакцією:



У результаті утворювалися метан, етилен, ацетилен, які під дією природної радіації полімеризувалися у вищі вуглеводні нафти.

На думку Менделєєва, подібні процеси можуть відбуватися і в сучасний час, тому можливе поповнення і відновлення покладів нафти. Але на підставі сучасних знань цю гіпотезу легко спростувати. Доведено, що ядро складається з важких металів, які знаходяться не в розплавленому, а в твердому стані, точно невідомо чи присутні там карбіді. Тим більше неможливе проникнення поверхневих вод до ядра, бо тріщини в літосфері не виходять за межі земної кори.

Нажаль, ця гіпотеза не дала пояснення різноманітного складу нафти ні в одному сховищі та чому нафту знаходять в породах с залишками живих організмів.

2. Ще одна гіпотеза неорганічного походження нафти – вулканічна гіпотеза. Вона визнає можливість виникнення вуглеводнів в магматичних осередках, що залягають в основі діючих і вимерлих вулканів. У газових еманациях, що виділяються з магми, поряд з іншими газами містяться і вуглеводні, які потрапляючи в верхні частини земної кори, конденсуються і скупчуються в тріщинах, пустотах і пористих пластах. Ця гіпотеза підтверджується зв'язком багатьох нафтових родовищ з ефузивними породами і присутністю нафти в цих породах. Так само в деяких нафтових родовищах присутні води глибинного походження.

Однак ця гіпотеза також спростована. Дійсно, вивержені породи грали важливу роль в утворенні нафтових родовищ, вони брали участь в підготовці місця для скупчення нафти, в виникненні шляхів для її руху, але вони не є породами, що утворили нафту. Також ця теорія не вказує в результаті яких саме хімічних реакціях виникають вуглеводні в магматичних осередках. Якби вулканічні осередки були джерелами утворення великих скупчень нафти, то максимальні скупчення нафти збігалися б з областями максимального розвитку вулканічної діяльності. Проявом максимальної вулканічної активності є центральні частини гірських хребтів. Але як раз тут і не знаходять не тільки значних скупчень нафти, а й ясно виражених її зовнішніх проявів.

3. Остання гіпотеза неорганічного походження нафти – це так звана космічна гіпотеза Соколова (1892 р.), що переносить утворення вуглеводнів нафти з вуглецю й водню в епохи формування Землі й інших планет Сонячної системи.

З огляду на факти знаходження бітумів в складі метеоритів і наявності вуглеводневих газів і атомів вуглеводнів в хвостах комет, наявності метану в атмосфері деяких планет, що було виявлено по спектрах поглинання цих планет, а водень досить широко поширений в

космосі, він прийшов до висновку, що в газовій оболонці Землі перебували вуглеводні. У міру охолодження вони поглиналися і розчинялися в рідку розплавлену магму. Згодом, коли Земля остаточно затверділа і утворилася земна кора, магма, застигаючи, знову починала виділяти вуглеводні, які по тріщинах в земній корі піднімалися в верхні її частини, збиралися і утворювали нафтові поклади.

Дійсно, магма містить в собі в невеликих кількостях розчинені вуглеводні. Такі вуглеводні при певних умовах виділяються і утворюють незначні скупчення нафти, які зустрічаються в ряді місць в масивно-кристалічних породах. Це означає, що невеликі скупчення нафти, що не мають ніякого практичного значення, могли мати неорганічне походження, виникаючи в результаті виділень її з магми. Але ця гіпотеза може бути застосована тільки в окремих випадках, вона має місце для незначних скупчень нафти, тобто не є універсальною, тому цю теорію можна також вважати спростованою.

Недоліком гіпотез неорганічного походження нафти є те, що гіпотези не пояснюють географічного й геологічного розподілу нафтових родовищ.

Поряд зі спробами отримання синтетичної нафти з неорганічних речовин, здійснювалося спроби отримання нафти з органічних речовин. Вихідним матеріалом для органічного синтезу служили жири рослинного і тваринного походження. Основним розходженням всіх органічних теорій є питання, з якого саме органічного матеріалу було зроблено нафту.

Перша гіпотеза органічного походження – **гіпотеза походження нафти з тваринних залишків**. Її засновниками стали К. Енґлер і Г. Ґюфер. Вони вважали, що нафта виникла з жирів загиблених тварин, таких як: риби, рептилії і нижчі організми (форамініфери, радіолярії і інші). Рослинні організми брали участь в утворенні нафти головним чином своїми жирами, смолами і воском. Перетворення жирів в нафту відбувалося в змінюваних умовах тиску і температури. Цей процес в одних випадках відбувався швидко, в інших повільно. Але ця теорія не задовольняє головні умови залягання нафти в земній корі, а саме її регіональність.

Наступна органічна гіпотеза – **гіпотеза походження нафти з залишків рослин**. Роль рослин в утворенні кам'яного вугілля в даний час є загально визнаною. Встановлено, що вугілля і нафта є членами одного і того самого генетичного ряду. Однак існує кілька видів гіпотез походження нафти з залишків рослин, які відрізняються один від одного головним чином вихідним матеріалом, з якого утворилася нафта. Вона могла утворитися:

1. З копалин або мінерального вугілля. Суть цієї гіпотези в тому, що під впливом високої температури в надрах мінеральне вугілля може давати продукти перегонки, що за своїм характером нагадують нафту. Однак після перегонки вугілля повинен бути вугільний залишок, що нагадує собою кокс, але такий вугільний залишок не знайдено в жодному нафтовому родовищі.

2. З наземних рослин. Ця гіпотеза є найбільш повною і ґрунтовною, вона була висунута К. Крегом. Він вважав, що нафта утворилася із залишків наземної рослинності, що збираються в глинах або пісках, шляхом природних процесів. Дельти великих річок, застійні водойми, болота – ось ті місця, де відбувалося накопичення і наступні залежні рослинного матеріалу, який в залежності від тих чи інших умов, перетворювався в нафту. Непроникність цих шарів, що не дозволяла утвореному газу виходити з покладів, і тиск від цих шарів створили ті умови, при яких рослинний матеріал перетворився в нафту. Але хімізм цього процесу до кінця не з'ясований.

3. З діатомових водоростей. Ця гіпотеза має сильне фактичне обґрунтування геологічного характеру. Діатомеї – мікроскопічні рослини, широко поширені і геологічно і географічно. Вони містять крем'янисту речовину у вигляді коробочок, або капсул з кришечкою, що містять протоплазму, яка дуже багата жирами і воском. Ці речовини під впливом підвищеної температури і високого тиску зазнають такі ж зміни і перетворення, як і жири тваринного походження.

Найбільш сучасною і розповсюдженою є гіпотеза органічного (біогенного) походження, відповідно до якої нафта утворилася з останків рослин і тварин, що нагромадилися в осадових породах морів і океанів (сапропель). Ідея органічного походження нафти вперше була викладена Ломоносовим (1763 р.).

За **класичною біогенною гіпотезою** початковою стадією процесу утворення нафти було розкладання в морській воді останків нижчих тварин і рослин (планктон й бентос) під впливом кисню й бактерій з утворенням газів і інших продуктів на глибині 100-200 м. Газу, що утворилися в результаті розкладання останків (H_2O , H_2S , CO_2 , N_2 , CH_4 , NH_3), розсіювалися в атмосфері, розчинялися у воді й поглиналися природними адсорбентами. Білки, жири, вуглеводи, ліпіди розщеплювалися з утворенням більш простих кислот і спиртів.

Частина вихідного органічного матеріалу, найбільш стійка до окисних процесів і бактеріального впливу, залишалася в осадових породах і поступово опускалася в їхню товщу й у результаті тектонічних процесів виявлялася в глибоких надрах землі в декількох кілометрах від поверхні (1,5-3,5 км), де температура становить 60 -

170°C. Потрапивши у відбудовне середовище під тиском до 30 МПа й при температурі 150-200 °С, у присутності природних каталізаторів ці продукти протягом багатьох мільйонів років перетворювалися в нафту – складну суміш різних вуглеводнів і інших органічних сполук.

Найскладнішим у цій гіпотезі було пояснення міграції нафти. Середній вміст органічної речовини в глинистих породах становить 1,5-2%, який перебуває в сорбційному стані. Щоб вимити органічну речовину з породи необхідна наявність газу-носія (попутного) або води.

З первинних родовищ нафта поступово по тріщинах, піщаним і пористим породам переміщалася (мігрувала) і накопичувалася на різних глибинах у порожнечах земної кори, утворюючи вторинні родовища, тобто зони заповнення, звідки вона й добувається в теперішній час. У подальшому в результаті руху по пористих шарах і при вертикальній міграції, що виникає під впливом гравітаційного й тектонічного факторів, нафта й газ накопичується в так званих пастках, тобто в таких ділянках пористих гірських порід, звідки подальша міграція неможлива або дуже ускладнена.

Скупчення нафти в цих пастках називаються нафтовими покладами. Якщо кількість нафти (або газу) у покладі досить велика або в даній структурі шарів гірських порід є кілька покладів, то говорять про нафтове, нафтогазове або газове родовище.

Отже, умови залягання нафти в гірських породах такі, що нафта й газ заповнюють пори породи. Зрозуміло, що чим більший коефіцієнт пористості породи, тим більше порода насичена нафтою. Тому що глини, особливо зволожені, практично не мають пор, то глинисті покриття пористих порід добре охороняють поклад від подальшої міграції. Разом з нафтою й газом у покладах майже завжди присутня і вода, тому що вона також заповнює пори порід. Як правило, більша частина нафтових пасток – покладів перебуває на значній глибині (900-2300 м). Виходи нафти на поверхню землі досить рідкі. На таких, близьких до поверхні землі родовищах, за давніх часів виник криничний видобуток нафти.

Основні докази біогенної гіпотези:

1. Територіальний збіг нафтових родовищ і зон осадових порід. Наприклад, достаток нафтових родовищ у зоні шельфу морів і океанів, прибережних зонах, зонах, де у віддалені геологічні періоди було морське дно.

2. У складі нафти виявлені елементи біогенного походження, що входять до складу білків, жирів (азот, сірка, кисень), а також оптично активні речовини біогенного походження.

3. Вуглеводні нафти мають переважно нормальну будову молекул, як і вуглеводні біогенного походження. У випадку утворення вуглеводнів у результаті каталітичної полімеризації, згідно з першої й другої гіпотез, вони мали б переважно розгалужену будову.

Однак в останні роки виявлені більші скупчення нафти, не пов'язані з осадовими породами. Це дозволило припустити як варіант біогенної гіпотези, що можливі процеси утворення нафти з органічного матеріалу, що потрапив у глибокі надра землі не шляхом поступового осадження, а в результаті геологічних процесів, характерних для ранніх періодів формування земної поверхні.

За минуле сторіччя нагромадилася величезна кількість хімічних, геохімічних і геологічних даних, що проливають світло на проблему походження нафти. У цей час переважна частина вчених – хіміків, геохіміків і геологів – вважає найбільш обґрунтованим подання про органічний генезис нафти, хоча є вчені, які дотепер віддають перевагу мінеральній гіпотезі її утворення.

Склад нафти

Нафта за зовнішніми ознаками являє собою масляну рідину темного кольору з характерним запахом. Елементний хімічний склад нафти є: вуглець – 83...87%, водень – 12...14%, кисень – 0.1...0.3%, сірка – 0.01...5%, азот – 0.2...1.7%.

Вуглець – С – основна горюча частина палива, водень – Н – друга (виділяється в 4 рази більше теплоти порівняно з теплою згоряння вуглецю).

Кисень – О – внутрішній баласт (не горить і не виділяє теплоти).

Азот – N – не горить і є внутрішнім баластом.

Сірка – S – є небажаним компонентом, бо згоряє з утворенням SO_2 і SO_3 , які викликають сильну газову або рідинну корозію металевих поверхонь.

За груповим хімічним складом нафта являє собою складну суміш вуглеводнів, сірчаних, кисневих та азотних сполук з густиною від 810 до 986 кг/м³. **У складі нафти є три групи вуглеводнів:**

1. Парафінові вуглеводні (алкани) (загальна формула C_nH_{2n+2}) із вмістом атомів вуглецю від 1 до 4 за нормальних умов є газоподібні, від 5 до 16 – рідкі, більше – тверді речовини. Парафінові вуглеводні мають найвищу масову теплоту згоряння, бо містять велику кількість водневих атомів, вони стабільні при зберіганні. Парафінові вуглеводні небажані компоненти бензинів тому, що у них мала стійкість до окислення при високих температурах (низьке октанове число) і бажані у дизельних паливах, як такі, що покращують самозаймання робочої суміші. В оливних фракціях парафінові вуглеводні покращують в'язкісно-

температурні властивості (індекс в'язкості), але погіршують низькотемпературні показники.

2. Нафтеніві вуглеводні (циклопарафіни, циклоалкани) (загальна формула C_nH_{2n}) є похідними циклопентану та циклогексану. Порівняно з парафіновими майже всі вони мають меншу теплоту згоряння, вище октанове число, але нижче цетанове число і, що важливо, більш низькі температури плавлення. В оливних фракціях нафтеніві вуглеводні підвищують в'язкість, а з довгими боковими ланцюгами - індекс в'язкості.

3. Ароматичні вуглеводні (арени) (загальна формула C_nH_{2n-x} , де x не менше 6), в основному, є похідними бензолу: толуол, ксилоли, нафталін, антрацен тощо. Ароматичні вуглеводні містять ще менше водню, ніж нафтеніві, тому їх масова теплота згоряння ще нижча. Ароматичні вуглеводні мають високу хімічну стабільність, вони термостабільні, тому є бажаними компонентами бензинів з точки зору антидетонаційних властивостей і небажаними компонентами дизельних палив. У товарних бензинах їх вміст не повинен перевищувати 40...45% у зв'язку з їх підвищеною здатністю до утворення нагару та лаків. Ароматичні вуглеводні в оливах, особливо поліциклічні, збільшують в'язкість, але погіршують в'язкісно-температурні властивості, зокрема зменшують індекс в'язкості, і мають високу розчинну здатність щодо гумових та полімерних виробів.

Ненасичені вуглеводні утворюються під час переробки нафти і нафтопродуктів. У паливах можуть знаходитися сполуки загальної формули C_nH_{2n} , які мають один подвійний зв'язок, завдяки якому вони мають низьку хімічну стабільність, а тому легко окислюються, полімеризуються, утворюючи смоли. Детонаційна стійкість цих вуглеводнів вища за цей показник у н. парафінових вуглеводнів. Вміст ненасичених вуглеводнів допускається в бензинах, які не підлягають зберіганню.

У процесі переробки нафти майже завжди утворюються ненасичені (неграничні) вуглеводні (алкени, олефіни), наприклад бутен, бутадиєн. Ці сполуки дуже нестійкі, їм притаманні реакції приєднання. Вони легко окиснюються, утворюючи смоли, органічні кислоти тощо.

Ненасичені вуглеводні схильні також до реакції приєднання та конденсації, внаслідок яких у нафтопродуктах, особливо в паливі, накопичуються смолисто-асфальтенові сполуки, що різко погіршують їхні властивості.

Отже, ненасичені вуглеводні небажані в усіх нафтопродуктах, їх зазвичай видаляють під час очищення в процесі добування.

Властивості палив і оливо залежать від хімічного та фракційного складу, тобто від того, які вуглеводні і в якій кількості містяться та їх температура кипіння. У бензинах є вуглеводні з числом атомів вуглецю від 5 до 12 (приблизно), у дизельних паливах – від 13 до 20, в оливах – від 20 до 70.

Кисневі сполуки, які містяться в паливах і оливах, являють собою органічні кислоти і асфальто-смолисті речовини. Органічні кислоти спричиняють корозію, передусім, кольорових металів. Основна доля кисню, що міститься в нафті і нафтопродуктах, знаходяться у вигляді асфальто-смолистих речовин. Вони спричиняють підвищене утворення різних відкладень, тому вміст їх небажаний.

Сірчані сполуки у складі палив і оливо можуть бути у вигляді сірки, сірководню, меркаптанів (активні сірчані сполуки), сульфідів, дисульфідів та інших – неактивних сірчанних сполук. Активні сірчані сполуки спричиняють сильну корозію металів. Неактивні сполуки палив самі корозії не спричиняють, її викликають продукти їх згоряння. Крім корозії, сірчані сполуки збільшують нагароутворення. Іноді вони бувають корисними, наприклад, в гіпоїдних оливах (підвищують міцність мастильної плівки).

Смолисто-асфальтенові речовини (смоли, асфальтени та ін.) належать до складних циклічних сполук, у молекулу яких поряд з вуглецем та воднем входять ще кисень та сірка. За здатністю розчинятися у нафтопродуктах ці речовини поділяються на нейтральні смоли, кислі смоли й асфальтени.

Азот знаходиться в паливах і оливах у вигляді асфальто-смолистих речовин.

Азотисті сполуки, яких дуже мало в нафті, майже не впливають на властивості ПММ.

7.3 Одержання палив. Пряма перегонка та крекінг. Очищення палив

Нафта – основна сировина для одержання палив та оливо для авіаційної, автотракторної, сільськогосподарської та дорожньо-будівельної, та іншої техніки, для чого переробляється до 90% від її видобутку.

Використовують фізичні і хімічні методи переробки. Фізичні методи найпростіші, вони базуються на розділенні нафти на фракції за температурами кипіння. Хімічні (деструктивні) методи переробки базуються на зміні хімічного складу сировини, що підлягає переробці. Технологічні процеси на НПЗ взаємопов'язані.

Атмосферна (пряма) переробка нафти – це розділення її на складові частини (фракції), що киплять у визначених інтервалах температур. При перегонці нафти одержують близько 50% паливних фракцій і близько 50% мазуту. Прямою перегонкою нафти отримують фракції з температурними межами википання, °С: бензинову – 30...200, лігроїнову – 120...240, реактивне паливо – 60...315, газову – 140...300, газойлеву – 230...360, соляріву – 300...400. Ці межі википання можуть змінюватись в залежності від того, яке паливо потрібно для регіону.

Готові (товарні) нафтопродукти (автомобільні, авіаційні бензини, бензини-розчинники, гаси – авіаційні, тракторні, освітлювані, дизельні палива тощо) виробляють після їх очищення, введення до їх складу добавок та присадок, доведення до стандартних показників якості.

Бензин прямої перегонки має низькі октанові числа (55-56 за моторним методом) і високу хімічну стабільність.

Дизельне пальне прямої перегонки має високі цетанове числа, але вимагає поліпшення низькотемпературних властивостей.

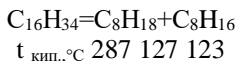
Мазут, що залишається після відгонки паливних фракцій, має густину приблизно 950 кг/м³. Він може бути сировиною для одержання оливних фракцій на вакуумній установці, паливом для малооборотових дизелів, сировиною для одержання додаткових кількостей палив деструктивними методами тощо.

Мазут містить сполуки, температура кипіння яких становить близько 400°C і вище, тобто температура їх кипіння вище температури розкладу. Для запобігання розкладу мазуту перегонку ведуть під вакуумом. При цьому знижується температура кипіння. Так, якщо вуглеводень кипить при атмосферному тиску при 500°C, то при зниженні тиску до 1333,2 Па (10 мм рт. ст.) він кипить при 230°C. Вакуумною перегонкою мазуту можна одержувати соляріву, спеціальні і змащувальні оливні фракції. Після відбору оливних фракцій (дистилятних: індустріальних, машинних, циліндрових, турбінних тощо) залишається важкий продукт – гудрон (густина 970...990 кг/м³). Він може бути сировиною для одержання бітуму, коксу, бензину, моторних олив (так званих авіаційних). Оливні фракції, залежно від складу і призначення, направляються на очистку.

Вторинні методи переробки – деструктивні методи – дозволяють одержувати додаткові кількості палив або поліпшують їх якість, базуються на зміні первісного хімічного складу сировини, що переробляється.

У 1891 р А.А. Летній описав процес розщеплення важких вуглеводнів на більш легкі. У тому же році інженер В.Г. Шухов дав ідею процесу. Бартон (американець) у 1912р. збудував установку для

розщеплення і дав ім'я цьому процесу «крекінг процес» (crack - розщеплення), наприклад:



Термічний крекінг – це розколення, розщеплення великих молекул під дією температур на менші, які відповідають бензиновим фракціям.

Сировина – напівгудрон, гудрон, мазут, газойль. При крекінгу мазуту отримують 25...30% бензину (октанове число 66...72, вміст ненасичених вуглеводнів 25...40%, продукт – з низькою хімічною стабільністю).

Каталітичний крекінг здійснюється при одночасній дії температури і каталізатора. Сировиною є газойлеві і солярові фракції прямої перегонки, вакуумні дистиляти. Бензин каталітичного крекінгу приблизно на 75% складається з ізопарафінових і ароматичних вуглеводнів, тому його октанове число становить 78...85 за моторним методом, має більш високу хімічну стабільність.

Каталітичний крекінг проводиться при $t=450...525^\circ\text{C}$; $P=0,06...0,14$ мПа, каталізатори – 10% Al_2O_3 ; 70...90% SiO_2 ; а також Fe_2O_3 , CaO . Вміст ненасичених вуглеводнів становить 5...9%, а вихід бензину сягає до 50% від крекованої сировини.

Гідрокрекінг – це каталітичний крекінг у присутності водню. Сировина – газойль, нафтові залишки. Проводять при $t=370...450^\circ\text{C}$; $P=15...20$ мПа; каталізатор-алюмонікельмолібденевий $AlNiMo$ або алюмокобальтмолібденевий $AlCoMo$.

Каталітичний риформінг – переробка низькооктанових бензинових фракцій з метою підвищення октанового числа. Сировиною є бензині прямої перегонки з температурою википання 85...180. Процес проводять при $t=480...540^\circ\text{C}$; $P=2...4$ мПа; каталізатори – молібден і платина. Продукт – авіаційний бензин з октановим числом за дослідницьким методом (ДМ) = 95.

Коксування – отримання дистиляту широкого фракційного складу і нафтового коксу з мазуту, напівгудрону, гудрону, крекінг залишків методом нагріву їх без доступу повітря при $t=505...515^\circ\text{C}$; $P=0,2...0,3$ мПа.

Методи синтезу дозволяють одержувати високооктанові компоненти, які додають до товарних бензинів. Основні з них такі: алкилбензин, алкилбензол, ізооктан.

Палива з нафтових газів. Використовуються природні (що супроводжують видобуток нафти), гази газоконденсатних родовищ та природні гази, що містять вуглеводні з числом атомів у молекулі від 1 до 4 і вище.

Вуглеводні з числом атомів у молекулі вище 4 за звичайних умов є рідинами і в газах знаходяться у вигляді парів. Ці вуглеводні виділяють із газів, і одержують так звані «газові» бензини. Їх додають у товарні бензини, щоб полегшувати пуск двигуна взимку.

Палива і оливи, що одержують різними методами переробки, ще не є товарними продуктами. Вони містять небажані компоненти, що погіршають експлуатаційні властивості і які треба вилучити: ненасичені вуглеводні, сірчані і кисневі сполуки, н. парафінові вуглеводні дизельних палив і олив.

Щоб видалити небажані компоненти, застосовують різні види очистки. Методи очистки можуть бути хімічними та фізичними.

Хімічні методи очистки базуються на видаленні небажаних компонентів з нафтопродуктів хімічними реагентами (сірчаною кислотою, лугом, солями та іншими розчинами). Хімічні реагенти вступають в реакцію з небажаними компонентами і не розчиняються з нафтопродуктом, який піддається очистці.

Фізичні методи очистки проводяться адсорбентами, розчинниками, які адсорбують (поглинають) окремі компоненти (очистка карбамідом, силікагелем, глинами тощо), або розчиняють окремі компоненти-це очистка селективними розчинниками: фурфуролом, фенолом, рідким пропаном, парними розчинниками тощо.

Очистка сірчаною кислотою (застарілий процес) застосовується для видалення ненасичених вуглеводнів, основної маси сірчаних сполук (за винятком сірководню і меркаптанів) та асфальто-смолистих речовин. Цей вид очистки дуже трудомісткий і складний. Після очистки проводять нейтралізацію продуктів лугом.

Очистка лугом застосовується для видалення органічних кислот, деяких сірчаних сполук (сірководню і меркаптанів), а також для нейтралізації продуктів після вищезгаданої очистки. Після очистки лугом необхідна промивка продуктів водою від залишків лугу.

Гідроочистка застосовується для видалення майже всіх небажаних компонентів. Екологічно чисті палива потребують видалення з них сірки і її сполук.

Висока ефективність цього процесу досягається використанням надмірного надлишку водню в процесі очистки та каталізатора. Сірководень, що утворюється в процесі гідроочистки, легко видаляється. Одночасно з видаленням сірчаних сполук відбувається

розклад кисневих та азотних сполук з утворенням води і аміаку. Ступень видалення залежить від необхідного рівня чистоти палива.

Селективна очистка базується на різній розчинності бажаних і небажаних компонентів олиव у розчинниках. При селективній очистці видаляються поліциклічні ароматичні, нафтоароматичні вуглеводні з короткими боковими ланцюгами, сірчані і азотні сполуки, смолисті речовини. Основне призначення цієї очистки – поліпшення в'якісно-температурних властивостей олив.

Депарафінацією виводять з дизельних палив та олив частину парафінових вуглеводнів з метою поліпшення низькотемпературних властивостей. При депарафінації можна досягнути будь-якої заданої глибини очистки.

Контактна (адсорбційна) очистка застосовується з метою видалення залишків небажаних компонентів, розчинників, смол і відбувається з допомогою різних адсорбентів, наприклад, природних глин, алюмосилікатів, силікагелів.

Виготовлення товарних бензинів вимагає проведення стабілізації, для чого із бензинів видаляються легкі фракції і додають антиокисні присадки (інгібітори окислення) для збільшення терміну зберігання бензину.

7.4 Основні властивості палив

Загальні властивості паливо-мастильних матеріалів.

Серед численних властивостей, на яких ґрунтується оцінка якості ПММ, найважливішими є властивості, що виявляються при експлуатації техніки, тобто в умовах складної взаємодії фізико-хімічних процесів та явищ.

Зважаючи на це, всі властивості ПММ прийнято умовно поділяти на фізико-хімічні, експлуатаційні та екологічні.

Таблиця 7.1 – Властивості пально-мастильних матеріалів

Властивості ПММ		
Фізико-хімічні	Експлуатаційні	Екологічні
Густина	Детонаційні	Токсичність
В'язкість	Нагароутворення	Вибухонебезпечність
Поверхневий натяг	Лакоутворення	Пожежонебезпечність
Теплота згорання	Осадоутворення	Здадність продукту впливати на навколишнє середовище
Випаровуваність	Окиснення	
Окиснення	Корозійні	
Електропровідність	Пускові	
Теплопровідність	Мийні	

Фізико-хімічні властивості ПММ визначаються різними методами в лабораторних умовах. Експлуатаційні властивості ПММ виявляються при їх використанні безпосередньо в двигунах внутрішнього згорання, механізмах і системах будівельно-дорожніх машин. Екологічні властивості ПММ виявляються при взаємодії продуктів з навколишнім середовищем, тобто при контакті з засобами механізації в умовах зберігання, транспортування, перекачування та фільтрування, а також при контакті з атмосферою, водою, людиною, тваринами і рослинним світом.

Від якості ПММ залежить надійність роботи двигунів та машин загалом, а отже, витрати на їх обслуговування і ремонт. Знання властивостей ПММ та вміння правильно їх застосовувати визначають ефективність використання автомобільної техніки.

7.5 Фізико-хімічні властивості пально-мастильних матеріалів

Для успішного вирішення проблем якості та ефективного використання паливо-мастильних матеріалів першочергове значення має оцінка їх властивостей. Вимоги до якості паливо-мастильних матеріалів визначаються показниками якості, які вказані в нормативно-технічній документації. В хімотології всі властивості нафтопродуктів поділяють на найбільш важливими ознаками на фізико-хімічні і експлуатаційні.

Фізико-хімічні властивості нафтопродуктів визначаються стандартними методами аналізів в лабораторних умовах. До цих показників відносять густину, в'язкість, молекулярна маса, випаровуваність, тиск насиченої пари, в'язкість, температурні властивості, електропровідність, оптичні властивості, теплові властивості, вміст механічних домішок, води тощо.

Густина пально-мастильних матеріалів

Густина – це маса речовини, яка міститься в одиниці об'єму. В системі СІ густина вимірюється в г/см^3 , але па практиці найчастіше мають справу з безмірною величиною – відносною густиною. Це – відношення маси речовини, при температурі визначення, до маси води при 4°C , при однаковому їх об'ємі. Густина води при 4°C прийнята за одиницю. У стандартах передбачається визначати відносну густину при 20°C (ρ_{20}^4). У тих випадках, коли температура визначення густини відрізняється від 20°C одержане значення густини при $t^\circ\text{C}$, приводять до стандартної за формулою:

$$\rho_4^{20} = \rho_4^t + v(t - 20), \quad (7.1)$$

де, v – температурна поправка на $1\text{ }^\circ\text{C}$ (знаходять за розрахунковими таблицями; змінюється в межах $0,000515\dots 0,000910$).

Визначають густину в виробничих умовах з допомогою нафтоденсиметрів (ареометру) (рис.7.3), але існують і інші методи, які застосовують при лабораторних випробуваннях (за допомогою пікнометрів, гідростатичних терезів).

Для визначення густини в'язких рідин, коли неможливий безпосередній замір за допомогою нафтоденсиметра, готують суміш рідини, густину якої досліджують, з розчинником відомої густини у відповідному співвідношенні (наприклад 1:2).

Густина нафтопродукту – важливий його показник, її необхідно знати для обліку витрати і нормування нафтопродуктів у господарствах, оскільки отримують їх з нафтобази в одиницях маси (кг, т), а при заправці видають в об'ємних одиницях (л). Крім того за густиною можна судити про вид нафтопродуктів та їх змішування між собою.

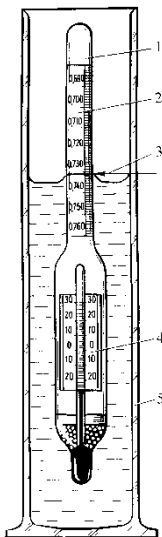


Рисунок 7.3 – Прилад для визначення густини нафтопродукту:
 1 – ареометр; 2 – шкала густини; 3 – лінія підрахунку густини; 4 – шкала термометра; 5 – скляний циліндр.

Таблиця 7.2 – Густина нафтопродуктів

Вид нафтопродукту	Густина, г/см ³
Авіаційний бензин	0,70...0,725
Автомобільний бензин	0,735...0,750
Лігроїн	0,750...0,770
Тракторний керосин	0,820...0,835
Освітлювальний керосин	0,840
Дизельне пальне	0,835...0,860
Солярна олива	0,860...0,880
Дизельне моторна олива	0,890...0,920
Авіаційна олива	0,880...0,905
Карбюраторне моторна олива	0,910...0,930

Молекулярна маса пально-мастильних матеріалів

Молекулярна маса нафт і нафтопродуктів – це усереднена величина, оскільки нафти – складні суміші органічних сполук різної будови та молекулярної маси. Молекулярна маса змінюється в широких межах, але для більшості нафт вона коливається в межах 220-300. Вона зростає, так само, як і густина, для нафтових фракцій з підвищенням температури кипіння.

У міру збільшення меж кипіння нафтових фракцій молекулярна вага їх ($M_{\text{сеп}}$) плавно збільшується від 90 (для фракцій 50-100 °С) до 480 (для фракції 550-600 °С). Для спрощених розрахунків можна користуватися формулою Войнова:

$$M_{\text{сеп}} = a + b t_{\text{сеп}} + c t_{\text{сеп}}^2, \quad (7.2)$$

де, $t_{\text{сеп}}$ – середня температура кипіння, яка визначається за даними стандартної розгонки; a, b, c – сталі для кожного класу вуглеводнів.

Для алканів формула Войнова має вигляд:

$$M_{\text{сеп}} = 60 + 0,3 t_{\text{сеп}} + 0,001 t_{\text{сеп}}^2, \quad (7.3)$$

для циклоалканів:

$$M_{\text{сеп}} = (7K - 21,5) + (0,76 - 0,004K) t_{\text{сеп}} + (0,0003K - 0,00245) t_{\text{сеп}}^2, \quad (7.4)$$

де, K – характеристичний фактор, що коливається в межах 10,0-12,5; $t_{\text{сеп}}$ – середня температура кипіння, °С.

Молекулярна вага пов'язана з температурою кипіння та показником заломлення:

$$\lg M = 1,939436 + 0,0019764t_{\text{кип}} + \lg (2,1500 - n_D^{22}), \quad (7.5)$$

де, $t_{\text{кип}}$ – середня температура кипіння фракції.

Розрахунок за цим рівнянням дає досить точні результати. Для фракцій з молекулярною масою 70-300 (гас – легкі оливи) можна використовувати кореляцію: $M - t_{\text{кип}} - \rho_4^{20}$. Для більш вузьких важких, фракцій (240-590) можна користуватися залежністю: $M - n_D^{22} - t_{\text{пл}}$. Для знаходження молекулярної маси цими методами є номограми.

Молекулярні ваги окремих нафтових фракцій мають властивість адитивності. Тому для сумішей нафтопродуктів можна розрахувати середню молекулярну вагу, знаючи молекулярну вагу окремих компонентів і їх вміст в суміші.

Молекулярна вага важлива при вивченні складу окремих, досить вузьких фракцій, наприклад, відібраних через 50 °С. Величина молекулярної ваги лежить в основі сучасних методів групового аналізу нафтових фракцій. Крім того, молекулярна вага має значення при переході від йодних або бромних чисел до реального вмісту ненасичених сполук в нафтопродуктах. Для цього буває достатньо мати приблизну молекулярну вагу.

Для однойменних по температурі кипіння фракцій різних нафт, які зазвичай містять вуглеводні змінюватися дуже сильно. Масляні фракції нафти відбирають не по температурі кипіння, а за питомою вагою або в'язкістю, а однакові в цьому відношенні фракції можуть всіх класів, молекулярною вагою розрізняється мало, зате інші властивості можуть сильно відрізнятися за молекулярною вагою.

Тиск насиченої пари

Величина в'язкості для нафтових фракцій та нафтопродуктів значення тиску насиченої пари являється важливою характеристикою, необхідною для технологічних розрахунків та визначальною для експлуатаційних властивостей нафтопродуктів (палив, олив, розчинників). Тиск насиченої пари – тиск, що утворюється парами даної речовини, які знаходяться в рівновазі з рідкою фазою при постійній температурі; це міра поверхневого тиску, необхідного щоб рідина не випаровувалась. Для легкокиплячих вуглеводнів типу пропану тиск парів дуже високий, так як цей вуглеводень дуже летючий. Більш висококиплячий вуглеводень, такий як газойль, характеризується нульовим тиском насичених парів, при кімнатній температурі він випаровується дуже повільно. Тиск насиченої пари залежить від температури та визначається при 15 °С.

У специфікаціях на бензини передбачено контроль тиску пари, що знаходиться у рівновазі з паливом за заданої температури, яка

означена, як тиск насиченої пари (ТНП). Для товарних моторних палив, які є сумішшю великої кількості різних вуглеводнів, ТНП залежить від їх складу та тиску пари всіх відповідних вуглеводнів, а також від співвідношення об'ємів парової (V_n) та рідкої (V_p) фаз (V_n/V_p). Під час випаровування складних вуглеводневих рідин спочатку випаровуються більш легкі речовини з максимальним тиском пари, тому в насиченій парі міститься більше низькокиплячих компонентів, ніж у рідині (перший закон Коновалова). Відповідно рідка фаза збагачується більш висококиплячими компонентами.

Показник ТНП враховується при оцінці швидкості фільтрації в пласті, при виборі типу витісняючого агента, при розрахунках потужності насоса видобутку нафти, вона визначає рухливість нафтопродуктів в умовах експлуатації двигунів, машин і механізмів, істотно впливає на витрату енергії при транспортуванні, фільтрації і перемішуванні і ін.

Для нормальних ньютонівських рідин, що являють собою індивідуальні речовини, або молекулярно-дисперсійні суміші, або розчини, внутрішнє тертя (в'язкість) за заданих температури і тиску є постійною фізичною властивістю. В'язкість не залежить від умов визначення та швидкості руху частинок, якщо не створюються умови для турбулентного руху.

Однак для колоїдних розчинів внутрішнє тертя значно змінюється за різних умов потоку, зокрема під час зміни швидкості течії. Аномальне внутрішнє тертя колоїдних систем називають структурною в'язкістю. Більшість рідких нафтопродуктів не виявляють ознак структурної в'язкості у широкому температурному діапазоні. Хоча вони і є відносно складними, асоційованими рідинами, вони не мають колоїдної структури, ознаки яких проявляються для рідких нафтопродуктів лише за низьких температурах, наближених до температури втрати текучості.

В'язкість пально-мастильних матеріалів

Однією з найбільш характерних властивостей рідин є здатність змінювати форму під дією зовнішніх сил. Ця властивість рідини пояснюється легкою рухливістю (ковзанням) її молекул однієї відносно другої.

В'язкістю, або внутрішнім тертям, називають властивість рідини або газу здійснювати опір взаємному переміщенню частинок під дією зовнішніх сил. Для нормальних ньютонівських рідин, що являють собою індивідуальні речовини, або молекулярно-дисперсійні суміші, або розчини, внутрішнє тертя (в'язкість) за заданих температури і тиску є постійною фізичною властивістю. В'язкість не залежить від умов

визначення та швидкості руху частинок, якщо не створюються умови для турбулентного руху.

В'язкість нафти і нафтопродуктів залежить від хімічного і фракційного складу. Нагадаємо, що розрізняють абсолютну (динамічну (μ), кінематичну(ν)), умовну в'язкість (ВУ).

Динамічна в'язкість (μ), являє собою коефіцієнт внутрішнього тертя, що дорівнює відношенню сили тертя, діючої на поверхні рідини при градієнті швидкості рівному одиниці, до площі цього шару. В одиницях СІ динамічна в'язкість вимірюється у $\text{Н}\cdot\text{см}^{-2}$ або $\text{Па}\cdot\text{с}$ (Паскаль-секунда). Це в'язкість такої рідини, що чинить опір взаємному переміщенню двох шарів рідини площею 1м^2 , які перебувають на відстані 1м один від одного і переміщуються зі швидкістю 1 м/с , силою в 1 Н .

В одиницях СГС розмірність динамічної в'язкості прийнята в пуазах (Пз), $1\text{Пз} = \text{г/см}\cdot\text{с}$. Сота частина пуаза називається сантипуаз (сПз), тобто $1\text{ сПз} = 0,01\text{ Пз}$.

Динамічна в'язкість використовується при поганій текучості нафтопродукту, коли його доводиться протискувати через капіляр під дією зовнішньої сили. Нормується динамічна в'язкість пластичних мастил.

Кінематичною в'язкістю (ν) називають коефіцієнт внутрішнього тертя або відношення динамічної в'язкості рідини до її густини:

$$\nu = \mu / \rho, \quad (7.6)$$

Вимірюється кінематична в'язкість в одиницях СІ у $\text{м}^2/\text{с}$, в одиницях СГС у стоксах (Ст) або сантистоксах (сСт).

$$1\text{Ст} (1\text{см}^2/\text{с}) = 100\text{ сСт} (10^{-4}\text{ м}^2/\text{с}).$$

Для нафти та нафтопродуктів, які являються складними сумішами, в'язкість є функцією їх хімічного складу, молекулярної маси та визначається силами міжмолекулярної взаємодії. Чим більша температура кипіння нафтової фракції, тим більше її в'язкість. Для бензинів кінематична в'язкість при температурі 20°C складає $0,6\text{ сСт}$, для важких олив $300\text{-}400\text{ сСт}$.

Кінематична в'язкість нафт різних родовищ змінюється в досить широких межах від 2 до 300 сСт при 20°C . Проте в середньому в'язкість більшості нафт рідко перевищує $40\text{-}60\text{ сСт}$.

Узагальнивши дані досліджень по визначенню в'язкості високомолекулярних вуглеводнів можна зробити висновки:

- при однаковій будові молекул наявність нафтових кілець підвищує в'язкість в порівнянні з ароматичними кільцями;

- чим більше циклів в молекулі, тим вище в'язкість;
- чим більше в молекулах складних вуглеводнів бічних парафінових ланцюгів при однаковій кількості кілець, тим вища в'язкість;
- розгалуження бічних ланцюгів, в свою чергу, збільшує в'язкість.

Кінематична в'язкість – основна фізико-механічна характеристика нафтових олів. Саме від величини в'язкості залежить здатність оливи при робочій температурі здійснювати гідродинамічний режим змащування, тобто забезпечувати заміну сухого тертя рідинним і тим самим запобігати зносу матеріалу. Тому для мастильних матеріалів, призначених для певного виду машин і механізмів, величина в'язкості є нормованим показником.

Існуючими Держстандартами нормується кінематична в'язкість дизельних та моторних палив при 20°C, реактивних палив при 20°C та при -40°C, моторних і трансмісійних олів при 100°C, в'язкісно-температурні властивості олів за максимально допустимим відношенням кінематичної в'язкості при 50°C до кінематичної в'язкості при 100°C, для зимових сортів олів – за граничним значенням в'язкості при 0°C.

Кінематична в'язкість визначається за ГОСТ 33 за допомогою скляних капілярних віскозиметрів

Метод визначення базується на тому, що в'язкість рідин прямо пропорційна часу перетікання їх однакових кількостей через один і той самий капіляр, що забезпечує ламінарність потоку.

Умовна в'язкість – величина безрозмірна, що показує, у скільки разів в'язкість нафтопродукту більша або менша за в'язкість дистильованої води при 20°C. Умовну в'язкість вимірюють у градусах умовної в'язкості, ВУ.

При великій в'язкості нафтопродуктів ускладнюється їх прокачуваність по трубопроводах і магістралях, через фільтри, що, у свою чергу, утруднює підведення мастила до поверхонь, що труться, і створює великі опори при роботі вузлів, а це призводить до зниження ККД механізмів. Підвищення в'язкості палива призводить до поганого розпилювання його при впорскуванні. При використанні нафтопродуктів з дуже малою в'язкістю гіршають змащувальні властивості мастила та дизельного палива, унаслідок чого зростає знос паливної апаратури дизелів, збільшується підтікання палива через форсунки і зазори в плунжерних парах, утруднюється забезпечення умов рідинного тертя в підшипниках ковзання.

В'язкість рідин істотно залежить від температури. При її збільшенні в'язкість знижується, при зменшенні – зростає аж до повної втрати рухливості. Властивість нафтопродуктів змінювати свою в'язкість при різних температурах називають в'язкісно-температурною властивістю. Оскільки нафтопродукти, а особливо моторні й трансмісійні оливи працюють у широкому діапазоні температур, необхідно, щоб вони володіли достатньою в'язкістю, що забезпечує надійність мастильного шару при робочих температурах (100°C), а при низьких – мали достатню рухливість.

Для оцінки в'язкісно-температурних властивостей нафтових оливо запропонований індекс в'язкості: відношення в'язкостей при температурах 50 °C та 100°C (v_{50}/v_{100}) та ін. Індекс в'язкості (ІВ) – умовний показник, що надає порівняльну характеристику досліджуваної оливи з еталонною та розраховується по таблицям, згідно показників v_{50} та v_{100} для оливо. Чим менше змінюється в'язкість оливи зі зміною температури, тим вище його ІВ. Встановлено, що ІВ залежить від хімічного складу оливи та структури вуглеводнів. Найбільше значенням ІВ мають парафінові вуглеводні, найменше – поліциклічні з короткими бічними ланцюгами.

В'язкість не адитивна властивість і визначається експериментально або по номограмах.

Високотемпературні властивості пально-мастильних матеріалів

Пари всіх горючих речовин в суміші з певною кількістю повітря утворюють вибухові суміші, що спалахують (вибухають) при наявності стороннього джерела вогню. Розрізняють нижню і верхню межі вибуховості по концентрації парів горючої рідини або газу.

Нижня межа вибуховості відповідає тій мінімальній концентрації парів пального в суміші з повітрям, при якій відбувається спалах при піднесенні полум'я. Верхня межа вибуховості відповідає тій максимальній концентрації парів пального в суміші з повітрям, вище якої спалаху вже не відбувається через нестачу кисню повітря. Чим вужче межі вибуховості, тим безпечніше дане пальне і, навпаки, чим ширше – тим вибухонебезпечніше. У більшості вуглеводнів межі вибуховості невеликі. Найширшими межами вибуховості володіють деякі гази: водень (4,0-75%), ацетилен (2,0-81%) і окис вуглецю (12,5-75%).

Пожежонебезпеку гасу, оливо, мазутів та інших важких нафтопродуктів оцінюється температурами спалаху і займання.

Для індивідуальних вуглеводнів існує кількісний зв'язок температури спалаху та температури кипіння:

$$T_{\text{сп}} = 0,736 T_{\text{кип}} \quad (7.7)$$

Для нафтопродуктів, що википають в широкому інтервалі температур таку залежність встановити не можливо, але існує залежність від випаровуваності. Чим легше нафтова фракція (менше її температура кипіння), тим нижче її температура спалаху.

Температура спалаху – параметр дуже чутливий до наявності летючих компонентів: невеликі їх домішки істотно знижують цю температуру.

Існує два стандартних методи визначення температури спалаху: у відкритому тиглі (ГОСТ 4333) і закритому тиглі (ГОСТ 6356). Принциповою відмінністю способів є наявність кришки на тиглі у другому способі, що створює більш сприятливі умови для концентрації пари випробуваного нафтопродукту й утворення горючої суміші. Температури спалаху, визначені у відкритому тиглі, вищі на 20-25°, ніж у закритому.

Наявність замкненого об'єму при випробуванні в закритому тиглі більшою мірою відповідають умовам зберігання нафтопродуктів і природно правилам пожежонебезпеки. Тому для нафтопродуктів з невисокою температурою спалаху стандартом передбачене визначення температури спалаху в закритому тиглі.

Температурою спалаху називається та мінімальна температура, при якій пари нафтопродукту, що нагрівається в певних стандартних умовах, утворюють з навколишнім повітрям вибухову суміш і спалахують при піднесенні до неї полум'я. Відзначимо, що при визначенні температури спалаху бензинів і легких нафт визначають верхню межу вибуховості, а для інших нафтопродуктів - нижню.

Температура спалаху залежить від фракційного складу нафтопродуктів. Чим нижче межі перегонки нафтопродукту, тим нижче і температура спалаху. В середньому температура спалаху бензинів знаходиться в межах від - 30°C до - 40°C, гасу 30-60°C, дизельних палив 30-90°C і нафтових олив 130-320°C. За температурою спалаху судять і про наявність домішок низькокиплячих фракцій в тих чи інших товарних або проміжних нафтопродуктах.

Температурою займання називається та мінімальна температура, при якій пари нафтопродукту, які утворюються в певних умовах загоряються при піднесенні до них полум'я і горять не менше 5 сек. Зрозуміло, що температура займання вища за температуру спалаху. Чим важче нафтопродукт, тим різниця ця більше і може досягати 50 °C. При наявності в оливах летючих домішок, навпаки, ці температури зближуються.

Температурою самозаймання називається температура, при якій нагрітий нафтопродукт в контактi з повітрям спалахує самовільно без зовнішнього джерела полум'я. Температура самозаймання нафтопродуктів залежить від фракційного складу і від переважання вуглеводнів того чи іншого класу. Чим нижче межі кипіння нафтової фракції, тобто чим вона легше, тим вона менш небезпечна з погляду самозаймання, так як температури самозаймання зменшуються зі збільшенням середньої молекулярної ваги нафтопродукту. Важкі нафтові залишки самозаймаються при 300-350°C, а бензини тільки при температурі вище 500°C.

При появі вогню або іскри, наприклад в результаті накопичення статичної електрики, ситуація різко змінюється. Легкі нафтопродукти стають пожежо- і вибухонебезпечними. Вуглеводні різної будови, але рівної молекулярної ваги суттєво відрізняються один від одного по температурі самозаймання. Найвищі температури самозаймання характерні для ароматичних вуглеводнів.

Низькотемпературні властивості палив

Нафта і нафтопродукти не мають певної температури переходу з одного агрегатного стану в інший. При зниженні температури частина компонентів цієї складної суміші стає поступово більш в'язкою і малорухомою, а розчинені тверді вуглеводні можуть виділитися у вигляді опадів або кристалів. Це явище досить ускладнює товарно-транспортні операції і експлуатацію нафтопродуктів при низьких температурах.

Для характеристики низькотемпературних властивостей нафтопродуктів запроваджено такі чисто умовні показники: для нафти, дизельних і котельних палив і нафтових масел – температура застигання; для карбюраторних, реактивних і дизельних палив – температура помутніння; для карбюраторних і реактивних палив, що містять ароматичні вуглеводні – температура початку кристалізації. Всі ці визначення проводяться в строго стандартних умовах і служать для оцінки кондиційності товарних продуктів.

Температура застигання не є фізичною константою, але характеризує можливу втрату плинності нафтопродукту в зоні певних низьких температур. Основний фактор, що підвищує температуру застигання нафтопродукту, - наявність в ньому парафінів і церезинів. Чим більший вміст парафінів, тим вища температура застигання. Залишкові високов'язкі продукти, навіть за відсутності твердих вуглеводнів, при знижених температурах втрачають рухливість, ніби застигають через різке збільшення в'язкості. Наприклад, кінематична в'язкість зразка залишкової авіаційної оливи, яка при 50 °C дорівнює 2

ст, підвищується при 0 °С до 130 ст, а при -25 °С – до 3500 ст. Зрозуміло, що при такому високому ступені в'язкості олива втрачає рухливість і її неможливо прокачувати.

Температура помутніння вказує на схильність палив поглинати при низьких температурах вологу з повітря. Надалі при ще більш низьких температурах ця волога утворює кристалики льоду, які забивають паливоподаючу апаратуру, що неприпустимо при експлуатації авіаційних двигунів.

Температура початку кристалізації – це максимальна температура, при якій у паливі неозброєним оком виявляються кристали ароматичних вуглеводнів, насамперед бензолу, який твердне при 5,5°С, а також н-парафінових та нафтонових вуглеводнів. Температура початку кристалізації карбюраторних і реактивних палив не повинна перевищувати -60°С і залежить від вуглеводневого складу палива, молекулярної маси, будови вуглеводнів та їх температури кристалізації. При цьому вплив температури кристалізації проявляється сильніше, ніж інших факторів.

Електричні властивості нафти

Безводні нафта і нафтопродукти є діелектриками. Значення відносної діелектричної постійної ϵ нафтопродуктів ~ 2 , що в 3-4 рази менше, ніж у таких ізоляторів, як скло ($\epsilon = 7$), фарфор ($\epsilon = 5 \div 7$), мармур ($\epsilon = 8 \div 9$). У безводних, чистих нафтопродуктах електропровідність зовсім незначна. Ця властивість широко використовується на практиці. Так, тверді парафіни застосовуються в електротехнічній промисловості як ізолятор, а спеціальні нафтові оливи (трансформаторне, конденсаторне) – для заливання трансформаторів, конденсаторів та іншої апаратури в електро- і радіопромисловості. Високовольтна ізоляційна олива С-220 використовується для наповнення кабелів високого тиску. У всіх перерахованих випадках нафтові оливи застосовуються для ізоляції струмопровідних частин і частково для відводу тепла.

Високі діелектричні властивості нафтопродуктів сприяють накопиченню на їх поверхні зарядів статичної електрики. Їх розряд може викликати іскру, а отже, загоряння нафтопродуктів, що призводить до пожеж і вибухів. Накопичення статичної електрики може статися від ряду найрізноманітніших причин. Наприклад, при полосканні в нафтових розчинниках шовкових або вовняних тканин відбувається їх електризація.

У момент виймання тканини з розчинника проскакує іскра. При перекачуванні нафтопродуктів в результаті тертя об труби або ударів рідкого струменя також виникають заряди, іноді дуже

високої напруги. Надійним методом боротьби з накопиченням статичної електрики є заземлення всіх металевих частин апаратури, насосів, трубопроводів тощо.

Оптичні властивості нафти

До оптичних властивостей нафти відносять колір, флуоресценцію і оптичну активність. Вуглеводні нафти безбарвні. Той чи інший колір нафті надають смолисто-асфальтенові та сірчисті з'єднання. Тому, чим важче нафта, чим більше вона містить смолисто-асфальтенових речовин, тим колір її темніший. В результаті глибокого очищення нафтових дистилятів можна отримати безбарвні нафтопродукти, навіть такі високомолекулярні, як оливи і парафін. Колір нафтопродукту – надійний показник рівня його очищення від смолистих домішок, що є одним з показників якості товарних олів.

Флуоресценцією називається світіння в відбитому світлі. Це явище характерне для сирих нафт і нафтопродуктів. Всім відомо, як переливаються кольорами спектра нафтові забруднення, плаваючи в водоймах, або який специфічний синюватий відтінок на світлі має гас. Причини флуоресценції нафти точно невідомі. Однак відомі індивідуальні речовини, здатні до флуоресценції, вони викликають світіння нафти при додаванні їх до неї. Це різні поліциклічні ароматичні вуглеводні. Глибоке очищення ліквідує флуоресценцію. Практичного значення флуоресценція не має, однак її слід гасити, якщо фракція нафти застосовується як робоча рідина в будь-яких приладах.

Під оптичною діяльністю органічних речовин розуміють їх здатність обертати площину поляризації прямолінійно поляризованого світлового променя. Нагадаємо, що прямолінійно поляризованим називається такий промінь, коливання якого відбуваються лише в одній площині. Площина поляризації перпендикулярна площині, в якій відбуваються коливання світла. Поляризований промінь після виходу з оптично активного середовища коливається вже в площині, зміщеною вправо або вліво на деякий кут по відношенню до площини поляризації. Більшість нафт обертає площину поляризації вправо. Здатність нафт обертати площину поляризації ще раз підтверджує органічне походження нафти, тому що оптична активність характерна тільки органічним речовинам. Практичного значення це явище не має.

При дослідженні хімічного складу нафти часто використовують фізичні константи, пов'язані з оптичними явищами. До них належить показник заломлення n_d^{20} і комплексні константи: питома рефракція, рефрактометрична різниця, специфічна дисперсія.

Показник заломлення n^{20} характеризує оптичну густину середовища й дозволяє оцінювати груповий вуглеводневий склад нафти та нафтових дистилатів, а разом із густиною та молекулярною масою розраховувати структурно-груповий склад нафтових фракцій. Показник заломлення залежить від природи речовини. Чим більша густина нафтопродукту, тим вищий його показник заломлення. При близькій молекулярній масі показник заломлення збільшується в такому порядку:

Алкани < Алкени < Циклоалкани < Ароматичні вуглеводні.

Крім того, він залежить від температури навколишнього середовища.

За підвищенням температури на 1°C його показник заломлення знижується на 0,0004:

$$n_d^t = n_d^{20} - 0,0004(t - 20) \quad (7.8)$$

Для суміші вуглеводнів показник заломлення визначають за правилом адитивності:

$$n_{d(\text{сум})}^{20} = n_{d(1)}^{20} \cdot x_1 + n_{d(2)}^{20} \cdot x_2 + \dots + n_{d(n)}^{20} \cdot x_n, \quad (7.9)$$

де, x_i – вміст компоненту в суміші, мольна частка; n^{20} – показник заломлення компоненту.

Розчиняюча здатність і розчинність нафти та вуглеводнів нафти

Нафта та рідкі вуглеводні добре розчиняють йод, сірку, сірчисті з'єднання, різні смоли, рослинні та тваринні жири. Ця властивість широко використовується в техніці. Нафтопереробна промисловість виготовляє спеціальні бензинові фракції в якості розчинника для гумової, олійної, лакофарбової та інших галузей промисловості. Нафта розчиняє також різні гази: повітря, окис вуглецю, вуглекислий газ, сірководень, газоподібні алканати ін.

У воді ні нафта, ні вуглеводні практично не розчиняються. Їх взаємна розчинність мала і не перевищує соту частку відсотка. У тих випадках, коли при експлуатації нафтопродуктів присутність води не допускається навіть у самих малих кількостях, її вміст контролюється спеціальними методами аналізу. Із вуглеводнів найменша розчинність у воді у алканів, декілька більша у ароматичних.

Для технології поділу вуглеводневих сумішей, а також очищення нафтових олив велике практичне значення отримали так звані селективні (виборчі) розчинники. З їх допомогою можна виділити з суміші певні компоненти, наприклад, смоли або ароматичні вуглеводні.

Основні теплові властивості вуглеводнів та нафтових фракцій

Теплопровідність, теплоємність та інші теплофізичні константи вуглеводнів залежать від їх молекулярного складу, структури молекул і зовнішніх умов (температури та тиску). Теплофізичні константи сумішей вуглеводнів нафти та її фракцій залежать від відповідних властивостей компонентів і тісно пов'язані з густиною, молекулярною вагою, середньою температурою кипіння досліджуваного продукту.

Вплив хімічного складу на фізичні та теплові властивості нафтогазових фракцій враховується величиною так званого характеризуючого фактору K :

$$K = \frac{1,216 \sqrt[3]{T_{\text{сер.мол}}}}{\rho_4^{2,0}}, \quad (7.10)$$

де, $T_{\text{сер.мол}}$ – середня мольна температура кипіння, ° К.

Величина K змінюється від 10 до 13. Так як густина ароматичних вуглеводнів найбільша, то K для ароматизованих фракцій має найменше значення.

Теплопровідність

Теплопровідність характеризує процес поширення тепла в нерухомій речовині внаслідок руху молекул, тобто за рахунок теплопередачі. Коефіцієнт теплопровідності λ залежить у великій мірі від температури. Для газів і парів λ збільшується, а для рідин зменшується зі збільшенням температури. Найбільша теплопровідність характерна для алканів, бі- і трициклічних структур з довгими бічними ланцюгами.

Теплопровідність нафтопродуктів залежить від їх хімічного складу, фазового стану, температури і тиску. Найбільшу теплопровідність мають тверді нафтопродукти, а найменшу - пари і гази, проміжне місце займають рідини.

Теплоємність

Теплоємність нафтопродуктів залежить від густини і температури. В деякій мірі на теплоємність впливає також хімічний склад нафтових фракцій. Найбільша теплоємність у алканів, найменша у ароматичних вуглеводнів.

Фізичний сенс теплоємності такий, що якщо підводити тепло з

однаковою швидкістю до нафтопродуктів з різною теплоємністю, то той продукт, який має меншу теплоємність, нагріється до більш високої температури.

Теплоємність – це адитивна фізична величина. Знаючи склад суміші, масові теплоємності та концентрації їх компонентів, можна визначити масову теплоємність суміші.

Питоною теплоємністю C називається кількість тепла, необхідне для нагрівання 1 кг речовини на 1 град.

Ентальпія

Розрізняють ентальпію для рідин та для парів. Ентальпія рідини це кількість тепла, яке необхідно повідомити 1 кг даної рідини, щоб нагріти її від 0°C до заданої температури. На ентальпію нафтових фракцій впливає їх густина і хімічний склад. Ентальпія пари – кількість тепла, котре необхідно для нагріву рідкого продукту до заданої температури, випаровування його при цій температурі, та для перегріву парів. Зрозуміло що ця величина пов'язана з теплою випаровування, крім того, вона залежить від хімічного складу і від тиску, який в свою чергу впливає на теплоту випаровування. Чим тиск вище, тим теплота випаровування нижче. Ентальпію рідких продуктів і нафтових парів знаходять за таблицями і графіками. З визначення ентальпії для парів і рідини випливає, що теплота випаровування (або конденсації) може бути вирахована за різницею значень ентальпії для парів та рідин при даній температурі.

Теплота згоряння

Теплотою згоряння, або теплотворністю палива, називається кількість тепла (в ккал / кг для рідких і твердих палив і в ккал / м^3 для газоподібного палива), яке виділяється при повному згорянні одиниці маси (1 кг рідкого або твердого) або одиниці об'єму (1 м^3 газоподібного) палива. Розрізняють вищу і нижчу теплоту згоряння. Вища теплота згоряння відрізняється від нижчої на кількість тепла, яке виділяється при конденсації утворених при згорянні водяних парів в воду. При згорянні вода, яка міститься у паливі та утворюється від згоряння водню, перетворюється в пару. На пароутворення води витрачається теплота. Теплоту Q згоряння називають вищою (Q_v) у тому випадку, коли пари води конденсуються і теплота, що затрачена на пароутворення звільнюється. Якщо ж пари води виносяться з димовими або відпрацьованими газами, частина теплоти втрачається і таку теплоту називають нижчою (Q_n).

Найчастіше мають справу з Q_n , так як при спалюванні палива утриманні водяні пари не конденсуються, а несуться разом з димовими газами. Теплота згоряння є важливою теплотехнічною характеристикою

опалювальних газів, реактивних і котельних палив. Теплота згоряння нафти, реактивних і котельних палив становить 9800-10 300 ккал/кг.

Теплоту згоряння визначають експериментальним шляхом у спеціальних приладах – калориметрах, і розрахунковими методами. Суть калориметричного методу визначення теплоти згоряння палива полягає в тому, що під час спалювання певної кількості палива у спеціально закритих камерах калориметричних установок теплота продуктів згоряння передається воді і при цьому її оцінюють за підвищенням температури в калориметрі.

Під час визначення теплоти згоряння розрахунковими методами необхідно знати елементний склад палива. Найчастіше визначають теплоту згоряння за законом Г.І. Геса, згідно з яким вона залежить від складу початкових та кінцевих продуктів і не залежить від проміжних реакцій. Підрахована таким чином теплота згоряння буде трохи відрізнятись від фактичної, оскільки горючі елементи у паливі перебувають не у вільному стані, а утворюють різні органічні сполуки, на руйнування яких витрачається частина теплоти. Тому згоряння палива дає менший тепловий ефект, ніж згоряння окремих елементів, які входять до його складу, що і враховується коефіцієнтами формул.

У практиці найчастіше для визначення теплоти згоряння застосовують формули Д.І. Менделєєва. Відповідно до них теплоту згоряння рідких і твердих палив, кДж/кг, визначають так:

$$Q_b = 339 C + 1256 H - 109 (O - S) \quad (7.11)$$

$$Q_n = Q_b - 25 (9H + W) = 339 C + 1090H - 109 (O - S) - 25 W \quad (7.12)$$

де, C, H, O, S, W – елементний склад палива, відсотки за масою; 25 – коефіцієнт, який враховує втрати теплоти, що виносяться продуктами згоряння в атмосферу (1 кг пари при виносі в атмосферу забирає 2500 кДж/кг); 9H – число масових частин води, що утворюється при згорянні однієї масової частини водню.

Теплоту згоряння газоподібного палива, кДж/м³, у розрахунку на суху масу визначають за формулами:

$$Q_b = 128(CO + H_2) + 339 CH_4 + 639 C_n H_m \quad (7.13)$$

$$Q_b = 128CO + 108 H_2 + 356CH_4 + 589C_n H_m \quad (7.14)$$

де, CO, H₂, CH₄, C_nH_m – склад газоподібного палива, проценти за об'ємом за нормальних умов (0°C, тиск 760 мм. рт. ст.).

7.6 Експлуатаційні властивості палив

Для успішного вирішення проблем якості і ефективного використання паливо-мастильних матеріалів першочергове значення має оцінка їх властивостей. Вимоги до якості паливо-мастильних матеріалів визначаються показниками якості, які вказані в нормативно-технічній документації. В хімотології всі властивості нафтопродуктів поділяють на найбільш важливими ознаками на фізико-хімічні і експлуатаційні.

Якість нафтопродуктів залежить не тільки від їх елементного і групового хімічного складів, способу одержання і очистки, але і від їх фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей. Не всі показники якості рівноцінні. За одними можна проконтролювати відповідність даного нафтопродукту вимогам стандарту, а за іншими – реально уявити, якими будуть результати його застосування в експлуатації. Кожний з цих показників по-своєму важливий, тому сукупність їх дозволяє оцінити якість нафтопродуктів. Нижче наведені лише загальні показники якості фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей нафтопродуктів.

Експлуатаційні властивості характеризують продукт безпосередньо у вузлі, агрегаті, механічні. До них відносять чистоту палива, детонаційну стійкість, схильність до нагаро-лако- і осадоутворень (стабільність), миючі, корозійні, протиспрацювальні та інші властивості.

Чистота палива

Чистота палива – це показник, пов'язаний з фізичною наявністю забруднення у пальному.

Серед безлічі речовин, що забруднюють паливо, нараховують близько 100, найбільш небезпечними є метали (сталь, алюміній, мідь, титан, хром, кобальт, молібден), оксиди металів (алюмінію, заліза, хрому) та неметали (сірка, двооксид сірки, вода).

У складі атмосферного пилу містяться оксиди кремнію (65-98 %), заліза, алюмінію, а також органічні речовини.

Атмосферні забруднення палив являють собою складну суміш високомолекулярних продуктів окиснювального ущільнення сірчистих, азотистих та кисневмісних сполук палива.

Забрудненість палива можна характеризувати такими параметрами:

- загальною масою забруднень в одиниці об'єму палива, г/м³;
- відносною масовою часткою (% від маси палива);
- відносною об'ємною часткою (% від об'єму палива);

- гранулометричним складом частинок;
- забруднення (частки, мкм/100 мл палива за діапазонами дисперсності забруднень);
- максимальним розміром частинок.

Основне місце серед забруднень палив, що справляють незначний негативний вплив на роботу двигунів та паливних систем, займають тверді або механічні домішки та вода.

Під механічними домішками розуміють тверді речовини, які можна спостерігати у паливі неозброєним оком або ті, що затримуються під час фільтрування.

Механічні домішки зумовлюють інтенсивне зношування агрегатів паливних систем, забруднюють паливні фільтри й зазори прецизійних пар, а також спричиняють відкладення нагару у камері згоряння, осмолення внутрішніх поверхонь паливно-масляних радіаторів та ін.

Основним рідким забрудненням палив є вода, що з'являється завдяки їх властивості поглинати вологу (оскільки вуглеводні палива – гігроскопічні).

Гігроскопічність палив є оборотною, тобто за певних зовнішніх умов паливо може поглинати вологу або волога може виділятися з палива у навколишнє середовище.

Емульсійна і відстійна вода, що нагромаджується, потрапляючи до паливної системи й паливорегулювального обладнання транспортного засобу разом з іншими забрудненнями забиває паливні фільтри й жиклери паливорегулювального обладнання. Кристали льоду, що утворюються з вільної води, зі зниженням температури навколишнього середовища, нагромаджуючись на запобіжних сітках паливних насосів, призводять до блокування вхідної площини й зминанню запобіжних сіток.

Відстійна вода викликає також прямі механічні пошкодження покриттів та швів паливних баків. Під час застигання, потрапляючи до отворів, вода розриває герметичні покриття баків й розклинає зазори швів. Наявність води та забруднення також спричиняють виникнення різних видів корозії.

В експлуатації більш важливим є якісне визначення наявності води у складі палива. Під час контрольного контролю якості палив вміст механічних домішок і води відповідно до державних стандартів на ці палива визначають візуальним методом. За візуальним методом визначення вмісту механічних домішок і води в авіаційних паливах виявляють вільну або емульсійну воду, а також механічні домішки за розмірів забруднювальних частинок або крапель води понад 15-20 мкм.

Детонаційна стійкість пального

Детонаційна стійкість пального – параметр, що характеризує здатність вуглеводневого пального протистояти самозайманню при стисненні. Є однією з найважливіших кількісних характеристик якості пального, на основі якої визначається його сортність і придатність до використання у двигунах тієї чи іншої конструкції.

Мірою детонаційної стійкості рідинних палив є октанове число для бензинів і цетанове число для дизельних палив, для газоподібних палив (природний газ, пропан, бутан тощо) використовується метанове число. Кількісне значення чисел, що характеризують детонаційну стійкість палив визначають на спеціальному вимірювальному устаткуванні, при спалюванні досліджуваних проб. Найменшу стійкість до детонації мають парафіни нормальної будови. Вуглеводні розгалужені, а також ненасичені і ароматичні більш стійкі до детонації, вони видержують більш сильне стиснення горючої суміші і відповідно, дозволяють конструювати більш потужні двигуни.

Висока детонаційна стійкість палив забезпечує їх нормальне згоряння на всіх режимах експлуатації двигуна. Процес горіння палива в двигуні носить радикальний характер. При стиску робочої суміші температура і тиск підвищуються і починається окислення вуглеводнів, яке інтенсифікується після займання суміші. Якщо вуглеводні незгорілої частини палива володіють недостатньою стійкістю до окислення, починається інтенсивне накопичення перекисних сполук, а потім їх вибуховий розпад. На виникнення детонації впливає склад живаного бензину і конструктивні особливості двигуна.

Стабільність палива

Під стабільністю пального розуміється його здатність зберігати рівень якості, встановлений на стадіях розробки і виробництва, при зберіганні, транспортуванні і подачі в двигун.

При недостатній стабільності ускладнюється зберігання, транспортування і використання пального в двигунах, зростає небезпека зниження якості до моменту використання і появи порушень і відмов в роботі військової техніки.

Властивості пального змінюються в результаті фізичних і хімічних процесів. Найбільш важливими процесами, що визначають фізичну стабільність є фазові переходи, - кристалізації, застигання, випаровування і поглинання вологи, а для хімічної стабільності – окислення, розкладання, конденсація, полімеризація і взаємодія з конструкційними і різними експлуатаційними матеріалами.

Всі ці процеси протікають не ізольовано, а в складному взаємозв'язку. У комплексі фізико-хімічних перетворень на різних

стадіях провідна роль належить то хімічним, то фізичним процесам.

Для пального складного складу хімічні і фізичні процеси протікають необоротно і викликають зміни якості. Наприклад, кристалізація, загусання і поглинання вологи у присутності частинок забруднень і деяких гетероорганічних з'єднань, розчинених в паливі, супроводжуються утворенням таких конгломератів і твердих частинок, які не повертаються в первинний стан при зміні зовнішніх умов, беруть участь в подальших фізико-хімічних перетвореннях з утворенням опадів і відкладень. Найбільш істотне значення для застосування вуглеводневого пального мають процеси накопичення в пальному смолянистих, кислих речовин і опадів різного вигляду.

Чинники, що впливають на стабільність пального.

При низькій початковій температурі спостерігається дуже повільний розвиток хімічних реакцій утворення первинних активних продуктів, що викликають вироджене розгалуження ланцюгових реакцій. Подальші стадії утворення продуктів окислення, полімеризації, конденсації, термоокислювальних і інших хімічних перетворень, а також фізичні процеси коагуляції або диспергування частинок опадів протікають по різному залежно від гальмуючої або прискорюючої дії інших чинників. До них відносяться: контакт з киснем повітря, каталітична дія металів і їх з'єднань, дія чинників, що ініціюють, час дії цих чинників.

Окиснення пального викликається присутністю кисню, розчиненого в ньому, і який знаходиться в навколишньому середовищі. Швидкість окиснення залежить від парціального тиску кисню, із зростанням тиску кисню швидкість окиснення росте з початку швидко, а потім зростання сповільнюється, досягає деякої межі і далі практично не міняється.

Нагароутворюючі і корозійні властивості палива

Нагароутворюючі властивості дизельного палива характеризують його схильність до утворення в результаті згоряння специфічних відкладень на деталях циліндро-поршневої групи та газорозподільчого механізму, що призводить до значних порушень в роботі двигуна (погіршення тепловіддачі, зависання клапанів, підгоряння голки форсунки, закоксовування поршня).

Серед факторів, які безпосередньо впливають на процес нагароутворення, необхідно відмітити наступні: підвищення в'язкості палива, високомолекулярні смолисто-асфальтові утворення та непридільні вуглеводні, сірчані з'єднання, механічні суміші. В наслідок цього, з метою зменшення впливу палива на нагароутворення в двигуні,

необхідно обмежити або повну відсутність небажаних в паливі цілого ряду механічних сумішей та з'єднань.

Хоча в даний момент немає достатньо точного метода оцінки нагароутворюючих властивостей палива, однак загально прийняті показники коксуємості у деяких ступенях дозволяють думати про схильність палива до відкладання нагару (особливо для порівняння оцінки різних партій товару одного і того ж палива при приймальних іспитах).

В процесі роботи двигуна на його деталях відкладаються не тільки нагар, а ще й лакоподібні елементи, котрі також являються продуктами високотемпературного окиснення ненасичених вуглеводнів та інших з'єднань.

До лако- та нагароутворення схильні ненасичені вуглеводні палива, зі збільшенням вмісту яких ці процеси інтенсифікуються. Вміст ненасичених вуглеводнів можна оцінювати за йодним числом, яке являє собою кількість йоду (г), яка вступила в реакцію з 100 г палива. В дизельних паливах йодне число не повинно бути більше 6 г/100 г палива.

Зольність характеризує мінеральний залишок після спалювання палива у атмосфері повітря при температурі 800...850⁰С.

Сірчані сполуки палива створюють більший вплив на утворення нагару і головним чином на його стан. Сірка, концентрується у нагарах та відкладеннях, робить їх більш твердими та важко знищувальними. Так, випробуваннями встановлено, що якщо при вмісті в паливі сірки 0,08%, в нагарах її містився 1%, а щільність відкладень складала 0,03 г/см³, то при підвищенні вмісту сірки в паливі до 1,5% в нагарах її вже було 9%, а щільність відкладень досягла 0,5 г/см³. При підвищенні вмісту сірки в паливі, окрім корозійного характеру, підвищуються знос деталей, щільність відкладень та утворення нагару.

Корозійні властивості палива, як вже відмічалось, визначаються в основному такими факторами, як утримання в паливі водорозчинних кислот та лугів, органічних кислот, води та сірчанних сполучень. У відповідності з ГОСТом у дизельному паливі не допускається наявності водорозчинних кислот та лугів, а також води, оскільки вони сильно впливають на корозію деталей двигуна.

Органічні кислоти, при їх наявності в паливі, теж створюють корозійну дію.

Вирішальний вплив на корозійну агресивність дизельних палив має вплив і характер сірчистих сполук. Корозійна агресивність дизельних палив підвищується зі збільшенням загального вмісту сірки. У даний час нафтопродукти одержують в основному з сірчистих нафт,

так як запаси малосірчастих нафт обмежені. В результаті їх перегонки отримують газойлеві і соляріві дистилятори з вмістом сірки до 1,0...1,3%.

Активних сірчистих сполук (сірководню, елементної і меркаптанової сірки) при випуску палива із заводу повинно бути так мало, щоб корозійні випробування, тобто пробу на мідну пластинку, воно витримувало.

Корозійні властивості дизельних палив обумовлені не стільки загальним вмістом сірки в паливі, скільки вмістом меркаптанів. Спрацювання плунжерних пар при роботі на паливі з вмістом 0,025% меркаптанової сірки збільшується у два рази у порівнянні з спрацюванням на паливі без меркаптанів. Тому вміст меркаптанової сірки в паливі повинен бути не більшим 0,01%.

Загальна кількість сірки, яка міститься в дизельному паливі, суттєво впливає на працездатність дизельного двигуна. Узагальнюючи експериментальні дослідження, можна стверджувати, що при зростанні вмісту сірки з 0,2 до 0,5% знос становить 15%, а при використанні сірчистих палив із вмістом сірки до 1,0% знос прискорюється майже в два рази.

7.7 Методи визначення фізико-хімічних властивостей

Основне завдання фізико-хімічного аналізу в нафтогазопереробній промисловості – найбільш повно і чітко охарактеризувати необхідні хімічні, фізичні та експлуатаційні властивості кінцевих продуктів виробництва, з урахуванням специфічних особливостей їх призначення і застосування.

Не менш важливим завданням фізико-хімічного аналізу є виробничо-технологічна оцінка вихідної сировини: сирові нафти, дистилятів і залишкових нафтових продуктів, природного, попутного і промислових вуглеводневих газів. Виробничо-технологічна оцінка проводиться головним чином за фізико-хімічними показниками, які характеризують склад і властивості сировини. У недавньому минулому фізико-хімічні методи лабораторного аналізу були також неодмінною і головною складовою частиною технічного контролю за роботою окремих апаратів, установок і цехів. У ряді випадків і зараз лабораторний аналіз є дуже важливим, а іноді і визначальним елементом контролю виробництва. Однак основні завдання контролю за проведенням технологічних процесів в будь-яких галузях промисловості, в тому числі і нафтогазопереробної, вирішуються в даний час на шляхах широкого впровадження автоматичних методів.

Автоматичне регулювання і контроль здійснюються за основними параметрами хіміко-технологічних процесів (температура, тиск, об'ємна швидкість та ін.) та за такими властивостями нафтових продуктів, як густина, в'язкість, фракційний склад, температура спалаху, вміст сірки, колір, і інші показниками, які визначаються автоматичними приладами, встановленими в потоці безпосередньо на технологічних установках.

До завдань фізико-хімічного аналізу в нафтогазопереробній промисловості входить також визначення складу і властивостей каталізаторів, технічної води і ряду допоміжних матеріалів і реагентів (сірчана кислота, їдкі луги, селективні розчинники, відбілюючі глини і багато інших).

В аналізі нафто-продуктів застосовуються такі способи, методи і прийоми дослідження;

1. Хімічні методи контролю: використовують класичні прийоми якісного і кількісного об'ємного, газометричного і рідше вагового методів аналізу, а також сучасні методи із застосуванням комплексних і органічних реактивів.

2. Фізичні методи аналізу: визначення густини, показника заломлення, в'язкості, температури плавлення, температури замерзання, температури кипіння; визначення характеристик мастил і бітумів (пенетрація, дуктильність); різноманітні методи поділу, що базуються на застосуванні екстракції, перегонки, ректифікації, кристалізації та інших фізичних методах.

3. Фізико-хімічні: газо-рідинна і адсорбційна хроматографія газів і рідких сумішей органічних речовин, потенціометричне титрування, колориметрія і інші.

4. Спеціальні методи випробування різних експлуатаційних властивостей або складу аналізованого продукту. До цієї групи належать методи і способи аналізу та випробувань, які моделюють обставини й умови, за яких використовується або працює той чи інший нафтопродукт, та фіксують його поведінку в цих умовах. До подібних визначень належать, наприклад, визначення важливих властивостей рідкого палива (октанове число, цетанове число, сортність), визначення хімічної стабільності палив і олив в умовах прискореного окиснення, визначення термоокиснювальної стабільності і мийних властивостей олив для двигунів внутрішнього згорання, визначення індексу активності каталізаторів, випробування на корозію нафтопродуктів і деякі інші.

Для проведення аналізів і встановлення якості нафтопродуктів усіма зазначеними методами створені численні й різноманітні прилади та установки, які здебільшого вимагають ручного управління.

Однак, в останні роки в області лабораторного контролю стали досить широко застосовуватися засоби автоматизації як для проведення самого аналізу, так і для фіксації його результатів. Особливо це стосується методів газо-адсорбційної і газо-рідинної хроматографії.

В даний час розроблені і впроваджуються в практику заводських лабораторій автоматизовані аналізатори для визначення основних якісних показників нафти та нафтопродуктів: фракційного складу, температури помутніння, кристалізації і застигання, температури спалаху, вмісту води і ін.

Основна задача проведення хімічного та фізико-хімічного аналізу нафти та нафтопродуктів є з'ясування причин зв'язку між якісними показниками кінцевих продуктів виробництва і поведінкою їх в реальних умовах експлуатації та застосування. Такий товарознавчий підхід дозволить в кінцевому підсумку більш глибоко оцінити важливість боротьби за якість продуктів нафтопереробки та нафтохімічного синтезу і необхідність впровадження передової технології і нових прогресивних методів переробки нафтової і газової сировини.

Види методів визначення фізичних та хімічних констант

Кожна властивість палива має назву і кількісно характеризується абсолютними і відносними показниками. Норми і величини показників якості затверджує Державний комітет по стандартам (Держстандарт), Державна міжвідомча комісія з випробувань палив, мастильних матеріалів і технічних рідин. Нормативним документом, який регламентує перелік норм і величин показників якості палив, олив, мастил, технічних рідин та присадок, є державний стандарт (ДСТУ), галузевий стандарт (ГСТ), технічні умови (ТУ), затверджені Держстандартом. Для оцінки показників фізико-хімічних властивостей ПММ застосовують методи аналізу, за допомогою яких визначають значення його фізичної або хімічної константи. Розрізняють три види методів визначення фізико-хімічних властивостей: стандартні, кваліфікаційні, спеціальні. До стандартних методів відносяться ті, методологія яких викладена і регламентована відповідним ДСТУ. Спеціальні методи застосовуються, в основному, при проведенні наукових досліджень. Комплекс кваліфікаційних методів призначений для визначення повної відповідності властивостей палив відповідних показників і дозволяє отримати об'єктивну характеристику придатності палива до застосування за призначенням. У цьому комплексі методів

випробувань об'єднані різні методи визначення показників якості, зокрема дослідження на модельному та стендовому обладнанні, що дозволяє уникнути дорогих експлуатаційних випробувань. Цивільна авіація оснащена складною, постійно вдосконалюваною авіаційною та наземною технікою, яка витрачає значну кількість паливно-мастильних матеріалів і спеціальних рідин.

Удосконалення авіаційної техніки, забезпечення надійної, економічної і довговічної її роботи висувають високі вимоги до властивостей паливно-мастильних матеріалів і спеціальних рідин, до їх якості.

Значимість контролю якості пально-маслитльних матеріалів (ПММ) визначається тим, що на авто-транспортній техніці повинні застосовуватися палива, оливи, мастила і спеціальні рідини, які відповідають вимогам відповідних нормативно-технічних документів (НТД). Якщо хоча б один показник якості ПММ не відповідає встановленим вимогам, використання їх за призначенням забороняється.

Контроль якості ПММ починається на підприємстві-постачальнику ПММ (заводі-виробнику, нафтобазі), де якість продуктів має перевірятися його лабораторіями в повному обсязі технічних вимог державних стандартів (технічних умов) на продукт.

Головна вимога, що пред'являється до контролю, – забезпечення безумовної гарантії кондиційності ПММ, які заправляють, оскільки від цього залежить надійність роботи техніки та безпека її використання.

7.8 Вплив фізико-хімічних властивостей на надійність, довговічність, ефективність та безвідмовність роботи авіаційної техніки

Останнім часом у світі відбулася значна кількість авіакатастроф, спричинених незадовільним технічним станом літаків. Забезпечення безпеки польотів, а також надійності й довговічності роботи паливних систем і газотурбінних установок літаків буде неможливим, якщо не приділяти уваги якості авіаційного палива. Ефективність, надійність і довговічність роботи двигуна, токсичність вихлопних газів прямо пов'язані з якістю паливно-мастильних матеріалів. Використання високоефективного палива збільшує ресурс роботи двигуна і зменшує викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище, застосування некондиційного палива дає зворотний ефект. Економічні збитки від застосування некондиційних нафтопродуктів не піддаються точному обліку, проте, навіть за найскромнішими підрахунками, становлять

багато мільйонів гривень. Одним із беззаперечних чинників надійності роботи паливних, гідравлічних і масляних систем і довготривалості безвідмовної роботи їхніх агрегатів є високий рівень чистоти робочих рідин.

Впровадження в експлуатацію новітньої авіаційної техніки, встановлення більш жорстких вимог міжнародних авіаційних організацій до чистоти робочих рідин і споживання великих обсягів авіаційного палива залишає проблему забезпечення його чистоти відкритою. Під час експлуатації тільки на шляху від нафтопереробного заводу до літака авіапаливо може декілька разів переливатися з резервуарів у транспортні ємкості, із них знову перевантажуватися в резервуари і перекачуватися в інші, перебуваючи під негативним впливом особливих умов транспортування й зберігання. Усе це може призвести до погіршення якісних показників авіапалива, у першу чергу, втрати певної частини легких фракцій від випаровування, а також внаслідок «дихання» резервуарів, забруднення механічними домішками і водою тощо. Під час довготривалого зберігання, якщо температура вища за 0 °С, в авіапаливі можуть розмножуватися мікроорганізми. Їхні колонії найчастіше виникають на межі поділу фаз авіапаливо – вода, у відстійній зоні, у підтоварній воді. Біологічні забруднення у вигляді желеподібної маси міцно утримуються на внутрішніх поверхнях трубопроводів, фільтрів, агрегатів і значно погіршують якість нафтопродуктів. Під час експлуатації авіаційне паливо так чи інакше контактує з повітрям. Оскільки повітря завжди містить вологу, відбувається обводнення палива, внаслідок чого його експлуатаційні властивості погіршуються. Попри наявність широкого спектру технічних заходів щодо вирішення даної проблеми на підприємствах паливозабезпечення, проблема обводнення палив, на жаль, залишається актуальною.

Як відомо, розчинність води в паливі залежить від хімічного складу й зовнішніх умов експлуатації. Найменше води розчиняється в алканових вуглеводнях, найбільше – в ароматичних. Із підвищенням молекулярної маси всіх вуглеводнів розчинність води в них зменшується (цей ефект найпомітніший для ароматичних вуглеводнів). Розчинність води в паливі в присутності гетероорганічних сполук підвищується. Найбільше розчиняється води в бензині, розчинність води в реактивному паливі є дещо меншою. На обводнення палив окрім хімічного складу впливають і зовнішні чинники, головними з яких є вологість середовища, що контактує з паливом, температура, тиск, площа поверхні й товщина шару нафтопродукту, інтенсивність руху газового середовища над паливом. В умовах зберігання, коли

температура повітря підвищується, на поверхні холодного палива може конденсуватися або сублимуватися атмосферна волога. Осадження крапель води, а також стікання конденсату зі стінок резервуара призводить до накопичення вільної води. В умовах експлуатації розчинена в паливі вода може переходити в інші фазові стани: емульсійну й вільну воду, кристали льоду, конденсат та інші в надпаливному просторі резервуара. Потрапляючи в авіаційне паливо, вода погіршує його низькотемпературні властивості (знижує прокачуваність і підвищує температуру початку кристалізації), знижує термоокиснювальну стабільність, підвищує корозійну активність, сприяє збільшенню забруднення механічними домішками й продуктами окиснення, а також мікроорганізмами, погіршує протиспрацьовувальні властивості. За наявності води знижується теплота згоряння палив, погіршується розпилювання й випаровування під час горіння. Як свідчать дослідження [5], вода, яка міститься в паливі, значно погіршує прокачуваність і фільтрованість палив за умови низьких температур, що пояснюється закупорюванням пор фільтраційних елементів кристалами льоду. Зі зниженням температури палива нижче $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ мікрокраплини води, що містяться в ньому, замерзають, утворюючи кристали льоду. Слід зазначити, що зневоднені палива можуть мати добру фільтрованість навіть за температури, значно нижчої, ніж температура початку кристалізації. Проте, за наявності невеликої кількості води в паливі в разі її замерзання кристали льоду є центрами кристалоутворення для вуглеводнів із високою температурою плавлення.

Прокачуваність обводненого палива за низької температури також є значно гіршою порівняно із зневодненим. Утворені кристали льоду й вуглеводнів погіршують рух палива в трубопроводах, спричинюючи ефект, схожий на той, що спостерігається з підвищенням густини рідини. Зі збільшенням діаметру трубопроводів вплив цього ефекту зменшується, проте фіктивне підвищення в'язкості палива залишається досить помітним.

При наявності води значно підвищується здатність реактивного палива до окиснення і накопичення забруднень у вигляді нерозчинного осаду. Істотніше за все впливає на ці процеси вода, що міститься в паливі у вільному стані у вигляді емульсії чи відстою.

Вплив води на зниження якості палив обумовлений тим, що вода реагує з речовинами, що містяться в паливі, а також спричиняє електролітичну дисоціацію його неорганічних складових, у першу чергу, сполук сірки. Це призводить до інтенсифікації реакцій окиснення, що відбуваються в паливі, продуктами яких є смоли і

нерозчинні осаді. Одночасно вода сприяє утворенню продуктів корозії. За наявності води пришвидшується коагуляція та ущільнення первинних продуктів окиснення, що перебувають у паливі у вигляді розчину. Вільна вода у паливі прискорює процес коагуляції, пов'язаний із високою поверхневою енергією, що мають мікрочапляні води, завдяки чому дрібнодисперсні частинки смолистого характеру, що випали з розчину і мають розміри до 1 мкм, збираються на поверхні крапель води, де асоціюються з неорганічними частками, які потрапили у паливо. Подальше укрупнення частинок спричинює появу осаду. Недопущення обводнення палива в умовах зберігання переслідують такі цілі: запобігання надходженню емульсійної й вільної води до пунктів видачі; зниження вмісту розчиненої води в паливі; запобігання утворенню конденсату та інею, а також накопиченню вільної води в резервуарах. Найдієвішими заходами, спрямованими на недопущення обводнення авіаційного палива, є запобігання його контакту з навколишнім середовищем і дегазація рідкої фази. Якщо паливо під час зберігання й використання буде перебувати в інертному середовищі, то обводнення не відбудеться. Також будуть відсутні й процеси окиснення. Проте на практиці такий підхід до вирішення проблеми не знайшов широкого застосування. Ефективним може бути метод, відповідно до якого повітря, що надходить до резервуара, осушують. Для цього перед клапаном на резервуарах рекомендують встановлювати осушувачі повітря. Одним із методів, що дозволяє запобігти накопиченню відстійної води в реактивному паливі, є застосування присадок, що запобігають її виділенню. Такими присадками є «Амікром» (продукт синтезу діетаноламіну та олеїнової кислоти) або вторинний високомолекулярний амін. Це перспективні присадки на основі поверхнево-активних речовин. Вартим уваги також оброблення вуглеводневого палива в магнітному полі. Обробка в зовнішніх магнітних полях змінює велику кількість фізико-хімічних показників палива, внаслідок чого змінюються його експлуатаційні властивості. Доказом цього є результати робіт вчених із Національного авіаційного університету. Магнітна обробка моторного палива збільшує корисну потужність двигуна не менше, ніж на 15 %, скорочує витрату палива на 15...20 %, зменшує вміст CO у вихлопних газах у середньому на 50 %, твердих вуглеводнів (сажа) – на 40 %. Спостерігається також підвищення повноти згоряння й термоокиснювальної стабільності, зниження кислотності.

Контрольні питання до розділу 7

1. Який склад нафти?
2. Який на сьогоднішній день асортимент продуктів переробки нафти?
3. Які є гіпотези та теорії походження нафти?
4. Як є характеристики властивостей нафти?
5. Які є види та способи переробки нафти для отримання різних видів нафтопродуктів?
6. У чому особливість фізико-хімічних властивостей пально-мастильних матеріалів?
7. У чому особливість експлуатаційних властивостей пального?
8. Які є методи визначенні фізико-хімічних властивостей пально-мастильних матеріалів?

РОЗДІЛ 8 ПАЛИВО ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

8.1 Сорти палив для ГТД. Взаємозамінність вітчизняних і закордонних палив

Виробництво палив для авіаційних двигунів є одним з пріоритетних напрямів, що розвиваються у нафтопереробній галузі в світі. Це передусім зумовлено збільшенням парку повітряних суден.

За прогнозом у найближчі роки у світі буде побудовано більше ніж 5835 великих пасажирських і транспортних літаків. Згідно останніх статистичних даних у світі нараховують близько двох тисяч авіакомпаній, які володіють 50 тис. літаків.

Світовий об'єм виробництва палив для реактивних двигунів (РД) становить понад 200 млн т/рік. Найбільше їх виробляють у США.

За призначенням: палива для РД поділяють на дві групи:

- палива для дозвукової авіації;
- палива для надзвукової авіації.

За способом виробництва палива для реактивних двигунів (РД) поділяють на прямогонні Т-1, Т-2, ТС-1, термостабільні – РТ, Т-6, Т-8В, сумішеві – ТС-1, Т-2.

За випаровуваністю палива для дозвукової авіації поділяють на палива типу гасу Т-1, ТС-1, РТ, Т-1С та палива типу широкої фракції Т-2.

Якість палив характеризується комплексом показників, передбачених державними стандартами. Фізико-хімічні властивості палив для газотурбінних двигунів визначаються природою та властивостями сировини, способами отримання базових фракцій, методами їх очищення та змішування, а також властивостями функціональних додатків.

У більшості випадках палива отримують прямою перегонкою. Також застосовуються методи вторинної (деструктивної) переробки нафти. У той же час, у деяких країнах широкого розповсюдження набули палива, що отримують переробкою такої сировини, як вугілля та горючі сланці.

В Україні широкого застосування набули три марки палива для ПРД: РТ, ТС-1 та Jet A-1.

Паливо марки ТС-1 для дозвукової та надзвукової авіації з обмеженою тривалістю надзвукового польоту виробляється як прямогонним, так і сумішевим методом. Для вироблення сумішевого палива в прямогонну фракцію нафти додають гідроочищений

компонент. Технічні характеристики такого палива визначаються галузевим стандартом ГСТУ 320.00149943.011–99.

Паливо марки РТ є гідроочищеним і може замінювати паливо ТС-1. Крім того, воно більш термостабільне і допускає нагрівання у паливній системі літального апарату (ЛА) до вищих температур, а отже, може використовуватися в більш теплонапружених двигунах літаків з підвищеною протяжністю надзвукового польоту. Вимоги до палива марки РТ визначаються галузевим стандартом ГСТУ 320.00149943.007–97.

Паливо марки Jet A-1 є керосиновим нафтовим паливом, відповідає вимогам міжнародних стандартів і може використовуватися для більшої частини газотурбінних двигунів (ГТД). Воно має дещо вищу температуру спалаху і температуру самозаймання порівняно з паливами марок ТС-1 та РТ. В Україні якість палива Jet A-1 визначається державним стандартом ДСТУ 4796:2007.

Основні вимоги до палив для реактивних двигунів:

– воно повинно повністю випаровуватися, легко займатися і швидко згоряти в двигуні без зриву, не утворюючи парових пробок в паливній системі, не утворювати нагару та інших відкладень в двигуні;

– об'ємна теплота згоряння його та густина повинні бути як можна вищими;

– воно повинно легко прокачуватися по паливній системі та мати оптимальні низькотемпературні характеристики;

– паливо і продукти його згоряння не повинні викликати корозії деталей двигуна;

– воно має бути стабільним і якнайменш пожежо-небезпечним при зберіганні і застосуванні.

Головним завданням контролю якості авіаційних ПММ є попередження погіршення якості та запобігання застосуванню на авіаційній техніці нафтопродуктів, якість яких не відповідає вимогам нормативно-технічної документації. Якщо хоча б один показник якості авіаційних ПММ не відповідає встановленим вимогам, використання їх за призначенням заборонено.

Якість авіаційних ПММ потрібно контролювати систематично на всіх етапах руху та забезпечувати надійну, довговічну й безперебійну експлуатацію авіаційної техніки.

Контроль потрібно здійснювати на всіх авіаційних підприємствах, його терміни та обсяг регламентуються «Інструкцією із забезпечення заправки повітряних суден паливно-мастильними матеріалами і технічними рідинами на підприємствах цивільного

авіаційного транспорту України», затвердженої наказом Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації від 14.06.2006 № 416.

Основні показники якості реактивних палив

1. Густина – це маса речовини в одиниці об'єму. Одиниці вимірювання густини – кілограм на кубічний метр ($\text{кг}/\text{м}^3$ чи $\text{г}/\text{см}^3$). Густина палива змінюється зі зміною температури, тому для отримання порівняльних результатів густину слід вимірювати при одній і тій же температурі. Якщо вимірювання проводяться за іншої температури, то результати необхідно звести до стандартної температури $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Густина палив, згідно з технічними умовами, не повинна бути меншою за визначену величину. Наприклад, густина палива ТС-1 за температури $20\text{ }^\circ\text{C}$ не повинна бути меншою від $775\text{ кг}/\text{м}^3$.

У процесі тривалого зберігання густина авіаційних палив майже не змінюється, тому під час визначення густини її значення можуть розрізнятися лише через можливі помилки вимірювання, неправильний відбір проб чи випадкове змішування палив різних марок.

2. Фракційний склад палива. Фракціонуванням називається поділ складної суміші компонентів на суміші більш простого складу або на індивідуальні складові. Фракцією розуміють частину палива, що випаровується в певному діапазоні температур.

Стосовно нафти такий поділ можна проводити різними методами, заснованими на розбіжності у фізико-хімічних властивостях речовин нафти: температурах кипіння (перегонка й ректифікація), швидкостях випаровування, що залежать головним чином від молекулярної маси (молекулярна перегонка), схильності до адсорбції на різних пористих тілах (хроматографія), розчинності в різних розчинниках (екстракція), температурах плавлення (кристалізація з розчинів) та ін.

Фракційний склад дизельного палива також дуже впливає на швидкість його випаровування й утворення суміші з повітрям після упорскування. Фракційний склад рідкого палива визначають шляхом перегонки. За результатами перегонки будується графік, що показує залежність об'єму відіганого палива від температури – крива перегонки. За характерними точками на кривій можна стверджувати про деякі експлуатаційні властивості палива.

Температура початку кипіння $t_{\text{пк}}$ й особливо температура википання 10% палива $t_{10\%}$ характеризує пускові властивості палива. Чим нижче ця температура, тим більше в паливі легколетючих речовин і тим легше при більш низькій температурі запустити холодний двигун.

Однак надмірне полегшення фракційного складу, особливо для авіаційних палив, неприпустимо, тому що приводить до утворення газових пробок у системі що подає паливо, припиненню подачі палива в камеру згоряння. Тому температура початку кипіння нормується завжди не нижче певного значення. За температурою википання 10% можна визначити мінімальну температуру повітря $t_{п}$ при якій можливий надійний пуск двигуна:

$$t_{п} = 0,5 t_{10\%} - 50,5 \quad (8.1)$$

Температура википання 50% палива впливає на швидкість прогріву запущеного на холоді двигуна й на витрату палива для цієї мети. Зі зниженням t_{50} прогрів прискорюється, а витрата палива на нього знижується; значно поліпшується також приємність двигуна, тобто легкість переходу його з одного режиму на інший, що особливо важливо для автомобільних двигунів в умовах міського транспорту. Але й надмірне зменшення t_{50} також небажано, оскільки при випаровуванні легколетючих речовин температура істотно знижується й це може викликати зледеніння карбюратора навіть при температурах вище 10°C .

Не менше значення має й повнота випаровування палива, що за даними стандартного розгону добре характеризується температурами википання 90, 97 – 98% палива й кінця кипіння. При підвищенні цих температур зменшується повнота випаровування палива, що спричиняє нерівномірність у його розподілі по циліндрам двигуна, розрідження змащення, збільшення витрати палива й масла.

3. Визначення вмісту фактичних смол у паливі. Фактичні смоли, що містяться в паливі, є складними продуктами окиснення, полімеризації та конденсації вуглеводнів, що утворилися у процесі виробництва та зберігання, а також визначення за допомогою спеціального приладу в умовах випробувань.

Окиснення палив переважно характеризується температурою окиснення та вмістом у них гетероорганічних сполук і ненасичених вуглеводнів. Продукти окиснення палив (чи смоли) є причиною утворення високотемпературних осадів. Ці осади утворюють відкладення на деталях паливних систем, забивають паливні фільтри та форсунки.

4. Визначення вмісту механічних домішок і води в паливах. Палива містять різні забруднення, що утворюються у процесі їх виробництва, транспортування та зберігання. Забрудненнями вважаються тверді, рідкі та газоподібні домішки, що погіршують

нормовані показники якості агрегатів паливних систем та двигунів транспортних засобів.

5. Визначення кінематичної в'язкості палив. Однією із найбільш характерних властивостей рідин є здатність змінювати свою форму під дією зовнішніх сил. Ця властивість рідини пояснюється легкою рухливістю (ковзанням) її молекул однієї відносно другої. В'язкість не залежить від умов визначення та швидкості руху частинок, якщо не створюються умови для турбулентного руху.

Кінематична в'язкість (γ) дорівнює відношенню динамічної в'язкості рідини (η) до її густини (ρ) за тієї ж температури:

$$\gamma = \eta / \rho \quad (8.2)$$

У міжнародній системі одиниць СІ одиниця кінематичної в'язкості – квадратний метр за секунду або квадратний міліметр за секунду ($\text{м}^2/\text{с}$ або $\text{мм}^2/\text{с}$). В'язкість палив визначається за допомогою капілярних віскозиметрів за температури 20 °С. У досліді вимірюється час, необхідний для витікання певного об'єму палива через калібрований капіляр.

6. Визначення температури спалаху палив у закритому тиглі. Температура спалаху – це температура, за якої нафтопродукт, що нагрівається у чітко регламентованих умовах, виділяє таку кількість пари в навколишнє середовище, що утворює з навколишнім середовищем суміш, здатну до короткочасного утворення полум'я під час піднесення вогню.

Мінімальна температура, за якої нафтопродукт у разі піднесення зовнішнього джерела запалювання загоряється і продовжує стійко горіти протягом не менш ніж 5 с, називається температурою запалювання.

Спалахування нафтопродуктів – це, по суті, вибух малих розмірів. Однак вибухати можуть не всі суміші пари з повітрям: спалахування пари відбувається у певному діапазоні концентрації пари у повітрі. За дуже низької концентрації (бідна суміш пари) не відбувається вибуху, оскільки надлишок у суміші повітря у вихідній точці вибуху відразу ж поглинає виділену теплоту.

Таким чином, температура спалаху характеризує вибухонебезпечні властивості палива. Спалахування таких нафтопродуктів, як гас, дизельне паливо та інші палива, відбувається у нижній межі спалахуваності, оскільки пружність пари палива за кімнатної температури недостатня для утворення вибухонебезпечної

концентрації, і продукт необхідно нагрівати. Бензинові фракції, що мають підвищену пружність пари, вже за кімнатної температури виділяють достатню кількість пари, що у суміші з повітрям спалахує, тому для визначення їх температури спалаху необхідно знизити температуру.

За температурою спалаху можна судити про вміст легкокиплячих компонентів у тих чи інших нафтопродуктах. Температура спалаху і температура займання залежать від фракційного складу нафтопродукту і температури початку кипіння, тиску пари і пружності пари нафтопродукту, його випаровуваності, а також зовнішнього тиску. Чим вища температура кипіння, тим вища його температура спалаху і навпаки.

7. Визначення температури початку кристалізації палив. Температурою початку кристалізації ($t_{п.к}$) називають максимальну температуру, за якої в паливі неозброєним оком видно кристали його компонентів. Цей показник значною мірою умовний, оскільки паливо складається із суміші вуглеводнів, що кристалізуються за різної температури.

Палива можуть переохолоджуватися, тому температура початку їх кристалізації визначається в строго регламентованих умовах (об'єм проби палива, конструкція охолоджувальної посудини, швидкість охолодження, швидкість перемішування і спосіб виявлення появи перших кристалів). Для визначення температури початку кристалізації пробу палива повільно охолоджують і періодично розглядають її на світлі. При цьому для порівняння розглядають зразок такого ж палива, що має температуру навколишнього середовища.

8. Визначення вмісту водорозчинних кислот і лугів. У паливах, на етапах виробництва, при зберіганні та транспортуванні, можуть з'явитися водорозчинні кислоти й луги, що викликають активну корозію засобів зберігання і паливної системи ПС.

Поява кислот і лугів у паливах є результатом їхньої неповної нейтралізації після кислотного очищення або недостатнього відмивання лугу при залуженні в процесі виробництва. При транспортуванні й зберіганні у зв'язку із присутністю в паливах сульфокислот, нафтових кислот, кислих етерів та інших, а також води можливо утворення кислих та лужних водорозчинних сполук.

Водорозчинні кислоти й луги є також причиною розвитку окисних процесів у паливах, що призводить до погіршення їх фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей.

Технічними вимогами на реактивні палива передбачена відсутність у них водорозчинних кислот і лугів.

8.2 Основні експлуатаційні властивості палива для газотурбінних двигунів (ГТД)

До паливних систем повітряних суден (ПС) ставляться такі вимоги: надійна, безвідмовна робота у діапазоні зовнішніх тисків від 100 кПа (1 кгс/см²) під час роботи двигуна на землі, до 10 кПа (0,1 кгс/см²) і менше в умовах польоту ПС на висоті, наприклад, 15 000 м і вище. Діапазон робочих температур ПС дуже широкий і знаходиться у межах від – 40 °С до 130 °С. При цьому наземна техніка працює у діапазоні тисків від 90 кПа (0,9 кгс/см²) до 100 кПа.

Об'єм палива на борту ПС визначається його призначенням і коливається у межах від 5 до 200 м³ і більше. На літаку Boeing-747, наприклад, місткість паливних баків складає приблизно 180 м³. Паливні баки літаків з одного боку сполучені через паливну магістраль з камерою згорання двигуна, а з другого боку – через дренажну систему – з атмосферою. Паливо на борту розміщено у відсіках, об'єм яких не перевищує 5-8 м³.

Випаровуваність – одна з найважливіших експлуатаційних властивостей реактивних палив. Вона характеризує швидкість утворення горючої суміші палива і повітря і тим самим впливає на повноту і стабільність згорання і пов'язані з цим особливості роботи двигуна: легкість запуску, нагароутворення, димлення, також надійність роботи паливної системи. Інтенсивність і повнота випаровування палива в двигуні залежать від хімічного складу палива, конструкції двигуна, особливостей подачі палива і способу утворення паливо-повітряної горючої суміші.

Випаровуваність оцінюють фракційним складом і тиском насичених парів. Для реактивних палив нормуються температура початку кипіння, 10-, 50-, 90- і 98% -го википання фракції.

За таким показником, як температура початку перегонки, судять про пожежонебезпеку палива, присутність в паливі найбільш легких фракцій, схильності до утворення парових пробок у паливній системі і виникнення кавітації в насосах. Чим нижче зазначена температура, тим більша небезпека порушення роботи паливної системи і більше втрати від випаровування. Пускові властивості та приблизний вміст легких компонентів певною мірою характеризує температура перегонки 10% обсягу палива.

Температура випаровування 50% об'єму палива характеризує його середню випаровуваність і впливає на тривалість прогріву двигуна, прийомистість палива та стійкість роботи на низьких обертах. Чим вища температура випаровування 50% об'єму палива, тим гірше паливо випаровується і тим довший час прогріву двигуна. Прийомистість і стійкість роботи двигуна буде кращою, якщо температура, при якій випаровується 50% об'єму палива, є нижчою.

Температура википання 90% і 98% обсягу характеризує вміст у паливі високомолекулярних вуглеводнів, важковипаровуючих фракцій які опосередковано характеризують низькотемпературні властивості палива, димлення і нагароутворення в камері згорання. Чим вищі ці температури, тим важче досягається висока повнота згорання палива.

Різна випаровуваність палив по різному впливає на техніко-економічні показники транспортних засобів. Відомо, що паливо, яке має більшу густину та більшу теплоту згорання (непряме свідчення про порівняно невисоку випаровуваність) збільшує дальність і тривалість польоту. Наприклад, якщо паливо марки Т-1 ($\rho_{20}^4 = 810 \text{ кг/м}^3$) замінити паливо марки Т-2, густина якого на 7% менша, а випаровуваність більша на ту саму величину, то тривалість польоту ПС зменшиться на 6%. Таким чином, втрати легких фракцій палива, через його випаровування, в умовах польоту здатні впливати на дальність і тривалість польоту літака. За певних умов польоту можуть навіть створитися умови для кипіння палива, що призведе до значних його втрат із систем паливоживлення через дренажну систему в атмосферу.

Під час польоту на паливах, що легко випаровуються, внаслідок утворення парових пробок у паливній системі та порушення нормальної роботи паливних насосів може зменшитись максимальна висота польоту. Крім впливу на кількісні втрати у висотних умовах випаровуваність палив може сприяти утворенню парових пробок у паливних магістралях системи паливоживлення літака. За збільшення тиску насиченої пари P_n погіршується робота паливоподавальних насосів. Тому з метою забезпечення надійної необхідної подачі палива до камери згорання двигуна розміри і потужність насосів під час використання палива типу широкої фракції мають бути значно збільшеними.

Так, для перекачування палива з $P_s = 49 \text{ кПа}$ (360 мм рт.ст.) необхідні насоси у 2-4 рази більші за розмірами, ніж для перекачування палива типу гасу з відносно невеликим значенням тиску насиченої пари.

В іншому випадку, коли тиск перед підкачувальним насосом стане нижчим від зовнішнього тиску, настають кавітаційні режими роботи насосів. Тому прийнято вважати, що кавітаційний запас

паливних насосів повинен складати 20-30 % тиску насиченої пари відповідного типу палива. Крім того, схильність до утворення парових пробок визначається за величиною співвідношення парової та рідинної фаз V_p / V_r . Співвідношення $V_p / V_r = 2$ вважається граничним, так як за $V_p / V_r \gg 2$ відбувається інтенсивне утворення парових пробок. Існує думка, що зі зменшенням випаровуваності палив, що виражається збільшенням ваги фракційного складу, веде до збільшення нагароутворення і появи таких дефектів, як тріщини і жолоблення стінок камери згорання, зміна гідравлічних характеристик форсунок, корозійно-ерозійне руйнування металу камери згорання і лопаток соплового апарату. Враховуючи великий вплив нагару на надійність роботи силових установок, нагароутворюючі характеристики палив нормують і регламентують за вмістом бі- і моноциклічних ароматичних вуглеводнів, фактичних смол, а також висотою не кіптявого полум'я, відношенням вуглецю до водню (C/H). Разом з тим, дослідження використання палива в умовах польоту показують, що більше нагароутворення на форсунках двигуна виникає під час використання широкофракційного палива марки Т-2, менше – у ТС-1 і РТ. Пояснюється це тим, що за однакових умов впорскування розпилювання палива марки Т-2 порівняно з паливом марки ТС-1 краще. Під час роботи двигуна на паливі Т-2 на торець форсунки повітряними завихреннями з паливного факела заноситься значна кількість рідкої фази, у результаті чого збільшується кількість нагару.

Однією з найбільш характерних властивостей рідин є здатність змінювати форму під дією зовнішніх сил. Ця властивість рідини пояснюється легкою рухливістю (ковзанням) її молекул однієї відносно другої.

Для авіаційних палив регламентується в'язкість за позитивних і негативних температур. Це створює підстави оцінювати прокачуваність палива як експлуатаційної властивості.

Водорозчинні (неорганічні) кислоти та луки залишаються в паливі за неякісної нейтралізації кислот та лугів під час технологічного процесу очищення. Ці сполуки мають сильний корозійний вплив їх присутність в паливі не допускається.

Температура спалаху – це температура, за якої паливо, що нагрівається у чіткі регламентованих умовах, виділяє таку кількість пари в навколишнє середовище, що утворює з навколишнім середовищем суміш, здатну до короткочасного утворення полум'я під час піднесення вогню. Мінімальна температура, за якої нафтопродукт у разі піднесення зовнішнього джерела запалювання загоряється та

продовжує стійко горіти протягом не менш ніж 5 с, називається температурою запалювання.

Спалахування нафтопродуктів – це вибух малих розмірів. Однак вибухати можуть не всі суміші пари з повітрям: спалахування пари відбувається у певному діапазоні концентрації пари у повітрі. За дуже низької концентрації (бідна суміш пари) не відбувається вибуху, оскільки надлишок у суміші повітря у вихідній точці вибуху відразу ж поглинає виділену теплоту. За дуже великої концентрації пари у повітрі суміш не вибухає тому, що в ній недостатньо кисню для утворення вибуху. Вибух чи спалахування пари відбувається у межах певної концентрації пари, що має назву «нижня межа здатності до вибуху» або мінімальна концентрація пари у суміші з повітрям, що здатна спалахнути з утворенням вибуху, і «нижня межа здатності до вибуху», що характеризується максимальною концентрацією пари у суміші з повітрям, що здатна вибухнути у разі піднесення полум'я або проскакування іскри.

Таким чином, температура спалаху характеризує вибухонебезпечні властивості палива. Спалахування таких нафтопродуктів, як гас, дизельне паливо та інші палива, відбувається у нижній межі спалахуваності, оскільки пружність пари палива за кімнатної температури недостатня для утворення вибухонебезпечної концентрації, і продукт необхідно нагрівати. Бензинові фракції, що мають підвищену пружність пари, вже за кімнатної температури виділяють достатню кількість пари, що у суміші з повітрям спалахує, тому для визначення їх температури спалаху необхідно знизити температуру.

За температурою спалаху можна робити висновки про вміст легко киплячих компонентів у тих чи інших нафтопродуктах. Температура спалаху і температура займання залежать від фракційного складу нафтопродукту і температури початку кипіння, тиску пари спалаху і температури займання залежать від фракційного складу нафтопродукту, і температури початку кипіння, тиску пари і пружності пари нафтопродукту, його випаровуваності, а також зовнішнього тиску. Чим вища температура кипіння, тим вища його температура спалаху і навпаки.

8.3 Палива для поршневих двигунів. Особливості процесу згорання в поршневому двигуні

Бензини призначені для поршневих авіаційних та автомобільних двигунів з примусовим спалахом. Незважаючи на різницю умов їх

використання, авіаційні та автомобільні бензини характеризуються загальними показниками якості, які визначають їх експлуатаційні властивості, що різняться між собою чисельними значеннями, зазвичай більш низькими для автомобільних бензинів, ніж для авіаційних бензинів. Тому експлуатаційні властивості бензинів розглядаються разом, без розділення їх за призначенням, але в окремих випадках увага акцентується на специфіці умови використання бензинів.

Хімічний склад палив для поршневих двигунів

Потужність двигуна, його моторесурс, надійність роботи, витрати палива і моторної оливи, токсичність відпрацьованих газів залежать від якості палива.

Автомобільний бензин – це суміш вуглеводнів з температурою кипіння за новим ДСТУ 4368-2001 від 30 до 215°C. Товарний бензин складається з суміші бензинових фракцій, здобутих різними способами перероблення нафти (атмосферної перегонки та крекінгів). Крім того, в них додають високооктанові компоненти, альтернативне паливо, газовий бензин (для поліпшення пускових фракцій), а також присадки й інгібітори окислення (для збільшення терміну зберігання), присадки, що мають мийні, антиобмерзальні та інші властивості.

Автомобільні бензини являють собою суміш бензинових фракцій різних технологічних процесів переробки нафти – прямої перегонки, термічного крекінгу, каталітичного крекінгу, каталітичного реформінгу, гідрокрекінгу – базових бензинів, а також продуктів ізомеризації, алкілування, ароматизації з додаванням індивідуальних високооктанових вуглеводневих компонентів і присадок, що поліпшують окремі експлуатаційні властивості. Базові бензини прямої перегонки нафти добувають з обмеженого асортименту нафт.

Базові бензини термічних процесів поглибленої переробки нафти одержують розщепленням високомолекулярних вуглеводнів за підвищеної температури з утворенням вуглеводнів з меншою молекулярною, вони містять велику кількість ненасичених вуглеводнів, тому вони мають більш високі ОЧ, ніж базові бензини прямої перегонки.

Особливості процесу згорання в поршневих двигунах

Бензини повинні насамперед відповідати конструкціям двигунів і мати фізико-хімічні властивості, які забезпечували б:

- безперебійну подачу в систему живлення;
- утворення паливо-повітряної суміші потрібного складу;
- нормальне та повне згорання її у двигунах (без виникнення детонації);

– зменшення корозії, а також корозійного зношування деталей двигунів;

– зменшення відкладень у впускному трубопроводі, камери згоряння і інших деталях двигунів;

– збереження якостей при зберіганні, перекачуваннях і транспортуванні.

Кожна з перелічених вимог визначається одним або кількома показниками, значення яких для різних марок бензинів нормовано Держстандартом.

Щоб у достатньою мірою відповідати усім цим вимогам, карбюраторні палива повинні володіти великою випаровуваністю та мати необхідний фракційний склад, від якого залежить якісне сумішоутворення і протидетонаційна стійкість, яка забезпечує нормальне згоряння палива. Від досконалості протікання процесу згоряння палива залежать основні техніко-економічні показники роботи двигуна.

Головними факторами, які впливають на процес згоряння палива, є хімічний склад самого палива, склад робочої суміші, тиск, температура, момент початку і кінця згоряння робочої суміші. Згоряння робочої суміші може бути нормальним і детонаційним.

Нормальне згоряння. У двигунах з примусовим запалюванням робоча суміш, яка стиснута в циліндрі до 1,0...1,5 МПа і нагріта до 350...380 °С займається від електричної іскри свічки запалювання і згорає в процесі поширення фронту полум'я по всій камері згоряння.

Детонаційне згоряння. Під час роботи двигуна внаслідок підвищення температурного режиму роботи, невідповідності октанового числа бензину вимогам двигуна, а також якості бензину стандартам може виникнути детонаційне (вибухове) згоряння робочої суміші. При детонаційному згорянні швидкість розповсюдження фронту полум'я досягає 1000...2300 м/с, а температура в циліндрах двигуна підвищується до 2500...3500 °С.

Особливістю детонаційного згоряння палива є поява ударних хвиль, які, багаторазово відбиваючись від стінок камери згоряння, викликають вібрацію і характерні металеві стуки. Зовнішніми ознаками детонації може бути також димний випуск відпрацьованих газів, оскільки при вибуховому розвитку процесу частина палива не встигає цілком згоріти. Внаслідок ударної дії гарячих газів на стінки камери згоряння збільшується коефіцієнт теплопередачі, що приводить до перегріву двигуна. Невиробничі додаткові втрати тепла в систему охолодження і неповнота згоряння палива викликають зниження потужності двигуна.

При детонаційному згорянні, відбувається різке, збільшення теплових і механічних навантажень, коксування поршневих кілець і клапанів, посилений знос і вихід з ладу деталей циліндро-поршневої групи і вкладишів підшипників колінчастого валу. Зовнішні ознаки детонаційного згоряння виявляються вже при вибуховому згорянні 5% суміші. Якщо детонує 10...12% робочої суміші, то детонаційне згоряння вважають середньої інтенсивності. Коли ж в процесі бере участь 18...20% суміші, говорять про сильну детонацію, що може передаватися на інші циліндри і привести в аварійний стан.

Процес детонаційного згоряння найбільш повно пояснюється висунутою теорією органічних перекисів (академіки А.Н. Бах, Н.Н. Семенов і ін.). Відповідно до цієї теорії, первинними продуктами окислювання вуглеводнів є перекисні сполуки, які утворюються в результаті того, що молекула кисню при окисненні приєднується до вуглеводневого радикалу цілком і виникають перекисні з'єднання типу $R - O - O - R$ (діалкілперекисів), $R - O - O - H$ (гідроперекисів) і ін.

В процесі нормального згоряння в робочій суміші також утворюються перекисні сполуки, але їх концентрація в незгорілій частині суміші так і не досягає критичної. Аналізуючи викладене, можна зробити висновок, що найбільші можливості для переходу нормального згоряння в детонаційне створюються при згорянні останніх частин робочої суміші. Чим більше незгорілої робочої суміші, яка залишилася та буде детонувати, тим інтенсивніше детонація і важчі її наслідки.

Усі фактори (конструктивні і експлуатаційні), що сприяють підвищенню температури, росту тиску і збільшенню часу згоряння робочої суміші, впливають на можливість виникнення детонацій. Тому в залежності від сформованих умов одне й те саме паливо може згорати або нормально, або в детонаційному режимі. З огляду на відзначені вище фактори, можна успішно запобігати детонаційному згорянню і забезпечувати нормальну роботу двигуна.

При детонаційному згорянні двигун перегрівается, працює жорстко і нестійкістю, його потужність зменшується, а витрата бензину збільшується. При тривалій роботі двигуна з детонацією прогорають поршні, клапани, поршневі кільця, пошкоджуються підшипники та інші деталі кривошипно-шатунного механізму.

8.4 Оцінка детонаційної стійкості бензинів. Детонаційні характеристики вуглеводнів. Октанове число. Високооктанові компоненти і антидетонатори

До конструктивних факторів, що впливають на характер згоряння палива в карбюраторних двигунах, відносять: ступінь стиску, форму камери згоряння, розташування і кількість свіч запалювання, розміри гільз циліндрів, матеріал поршнів, голівок блоку і гільз циліндрів і деякі інші.

Одним із ефективних засобів підвищення економічності двигунів, зниження їх питомої ваги, а також збільшення літрової потужності є підвищення ступеня стиску ϵ . Так, за даними деяких вчених, збільшення ступеня стиску з 6,7 до 8,5 дозволило підвищити ефективну потужність двигуна з 155 до 190 к. с., а питому витрату палива зменшити з 240 до 225 г/л. к. ч. Однак, це можливо тільки в деяких межах, що обмежуються техніко-економічними міркуваннями (збільшення вартості двигуна, підвищення вимоги до палива, посилення небезпеки samozapalювання палива й ін.).

Застосування наддування також є одним з ефективних способів підвищення потужності та економічності двигуна, однак через різке зростання тиску і температури робочої суміші, як і при підвищенні ступеня стиску, потрібно паливо з більш високою детонаційною стійкістю.

Зменшенню ймовірності детонаційного згоряння сприяє зниження температури робочої суміші в результаті поліпшення охолодження, що обумовлюється рядом конструктивних факторів (наприклад, удосконаленням форми камери згоряння, виготовленням головки блоку і деталей циліндро-поршневої групи з металів великої теплопровідності).

На характер згоряння робочої суміші впливають і інші конструктивні фактори (наприклад, діаметр поршня, місце розташування свічки запалювання). Зокрема, збільшення діаметра циліндра подовжує шлях проходження фронту полум'я, у результаті чого зростає час згоряння робочої суміші, а в незгорілій її частині різко (за рахунок стискання) підвищується тиск. Це й сприяє виникненню детонаційного згоряння. Оцінюючи в загальному вплив конструктивних факторів на процес згоряння палива, можна зробити висновок, що двигун буде тим досконалішим, чим менш він вимогливий при одному й тому ж ступені стиску до детонаційної стійкості бензину.

Серед експлуатаційних факторів, що впливають на процес згоряння робочої суміші, варто виділити кут випередження

запалювання, частоту обертання колінчастого вала двигуна, коефіцієнт надлишку повітря, тепловий режим і навантаження двигуна, утворення нагару на поверхнях камери згоряння та ін.

Найвигідніший, строго визначений кут випередження запалювання робочої суміші встановлюють для отримання максимальної потужності двигуна. Однак за умовами згоряння випередження запалювання не завжди є сприятливим. Це пояснюється тим, що зі збільшенням цього кута, запалення робочої суміші відбувається при більш низьких значеннях тиску і температури, що погіршує умови процесу горіння суміші. Крім того, до кінця згоряння температура і тиск робочої суміші значно зростають, що сприяє утворенню і накопиченню в суміші перекисних сполук, що викликають детонацію. Щоб попередити детонацію, потрібно зменшити кут випередження запалювання, але тоді потужність двигуна трохи знизиться. Застосовуючи ж бензини з більш високою детонаційною стійкістю, можна встановити режим із оптимальним значенням кута випередження запалювання і силових показників двигуна. У цьому випадку зменшення кута випередження запалювання для ліквідації детонації доцільне тільки як тимчасова міра.

Частота обертання колінчастого вала двигуна також впливає на процес згоряння. З її збільшенням швидше поширюється фронт полум'я і разом з тим скорочується час, що відводиться на згоряння палива. Отож, збільшення частоти обертання колінчастого вала являє собою фактор, сприятливий запобіганню детонацій.

Коефіцієнт надлишку повітря характеризує склад суміші, від якого в істотній мірі залежить швидкість згоряння, палива.

Найбільш небезпечні у відношенні детонації умови створюються при коефіцієнті $\alpha=0,9\dots 1,1$, якому відповідає максимальна швидкість протікання передполум'яних процесів окислювання в робочій суміші. Вихід за межі цих значень α зменшує ймовірність появи детонації. При збідненні паливної суміші зростає витрата тепла на підігрів зайвого повітря, а отже, знижується температура суміші. При збагаченні суміші зменшується концентрація кисню, а відповідно й інтенсивність утворення перекисів, які сприяють детонації.

Покращення охолодження деталей двигуна і особливо інтенсивне відведення тепла від стінок камери згоряння з метою зниження температури робочої суміші при згорянні є важливими факторами попередження детонаційного згоряння. Збільшення вологості повітря, яке подається в двигун, також буде знижувати температуру робочої суміші за рахунок того, що випаровування крапель води віднімає від суміші частину тепла. Крім того, сама водяна пара є

складовою частиною робочої суміші, діє як інертні гази, запобігаючи утворенню перекисів.

Зменшення ступеня відкриття дросельної заслонки також скорочує можливості виникнення детонації, оскільки в цьому випадку різко збільшується відносна кількість залишкових газів у складі робочої суміші, що знижує концентрацію кисню в суміші, перешкоджаючи утворення в ній перекисів.

Нагаровідкладення на поверхнях камери згоряння сильно погіршують відвід тепла від робочої суміші і разом з нїби мимовільно збільшують степінь стиску. Доведено, що теплопровідність нагару приблизно в 50 разів менша, ніж теплопровідність чавуна або сталі. Внаслідок погіршення теплопровідності покритих нагаром стінок камери температура згоряння робочої суміші підвищується і створюються умови для утворення і накопичення перекисів, що сприяють детонації. Крім того, і сам нагар, маючи високу температуру, може викликати передчасне самозапалювання палива, порушуючи нормальний режим роботи двигуна.

Тепловий стан двигуна погіршується і в результаті утворення в системі охолодження (особливо на поверхнях голівки циліндрів) накипу, що також має дуже низьку теплопровідність. Можна відзначити, що до певної міри на процес згоряння впливає значення атмосферного тиску. З його зменшенням буде меншим ваговий заряд робочої суміші. Отже, знижуються її тиск і температура, а разом з ними й інтенсивність утворення перекисів.

Таким чином, усі ті конструктивні та експлуатаційні фактори, що сприяють зниженню тиску і температури, а також скороченню часу згоряння робочої суміші, створюють умови для утворення і накопичення перекисів, які є несприятливими, а отже, і зменшують можливості виникнення детонаційного згоряння.

Оцінці детонаційної стійкості бензину надають велике значення, тому що від її правильної визначеності залежать відповідність даного палива конкретному типу двигуна і основні техніко-економічні показники роботи двигуна.

Найбільше розповсюдження отримав метод порівняння детонаційної стійкості бензину, що досліджується, із детонаційною стійкістю еталонного палива. Еталонне паливо являє собою суміш з різним вмістом (за об'ємом) двох вуглеводнів – ізооктану (C_8H_{18}) і нормального гептану (C_7H_{16}). Ізооктан має високу детонаційну стійкість, яка умовно прийнята за 100, а нормальний гептан – дуже низьку, що прийнята за 0. У відповідності з цим визначенням детонаційної стійкості бензину, що досліджується, полягає в тому, щоб

підібрати таку суміш ізооктану і нормального гептану, яка б мала при однакових умовах таку ж саму детонаційну стійкість, що й паливо яке досліджується.

Властивість бензину протистояти детонації оцінюється октановим числом, мінімальне значення якого відображено у марці бензину. Октанове число (ОЧ) бензину дорівнює процентному (за об'ємом) вмісту ізооктану в такій суміші з нормальним гептаном, яка рівноцінна за антидетонаційними властивостями даному паливу при стандартних умовах випробування.

Розроблено і стандартизовано ряд методів визначення октанового числа бензину. Найчастіше використовують два методи (табл. 8.1): моторний (ГОСТ 511-85) і дослідний (ГОСТ 8226-85). Оцінка октанового числа одночасно двома методами дає можливість визначити чутливість бензину до зміни режиму роботи двигуна. Чутливість бензину оцінюють різницею октанових чисел, одержаних моторним і дослідним методами.

Октанове число бензину по моторному методу визначають на одноциліндровому двигуні (установці УИТ – 65) зі змінним ступенем стиску наступним чином. Установку заправляють бензином, октанове число якого необхідно визначити. Двигуну задають стандартний режим, а потім поступово підвищують ступінь стиску до появи детонації, яку фіксують за допомогою спеціального електронного приладу – детонометра. Потім у двигун заливають еталонне паливо, при чому підбирають таку суміш ізооктану та гептану, при роботі на якій інтенсивність детонації буде такою ж, як і на досліджуваному бензині. По кількості недетонуючого ізооктану у суміші визначають октанове число.

У якості додаткової характеристики детонаційної стійкості авіаційних бензинів виступає сортність. Сортність – це характеристика, яка показує величину потужності двигуна (y %) під час роботи на досліджуваному паливі порівняно з потужністю, яка одержана на еталонному ізооктані, потужність якого прийнята за 100. Детонаційна здатність авіаційних та автомобільних бензинів визначається їх вуглеводним складом та наявністю антидетонатора, що вводиться у малих концентраціях для покращення антидетонаційних властивостей бензини.

Таблиця 8.1 – Технічні умови визначення октанового числа бензину на установці УИТ-65

Показник	Октанове число (моторний метод)	Октанове число (дослідний метод)
Двигун	Одноциліндровий із змінним ступенем стиску	
Частота обертання вала, хв ⁻¹	900±10	600±10
Температура, °С:		
- в системі охолодження	100±2	100±2
- повітря	40...50	52±2
- пальної суміші	140±1	не підігрівається
- масла в картері	50...75	50...75
Кут випередження запалювання	Змінний: 26° до ВМТ при $\epsilon=5$ 19° до ВМТ при $\epsilon=7$	Постійний 13° до ВМТ
Склад пальної суміші	Відповідає найбільшій детонації	

Детонаційна стійкість вуглеводнів в паливі

Хімічний склад і молекулярна будова в сукупності визначають властивості палива. Вуглеводні, що входять до складу палива, володіють навіть у межах однієї групи різними властивостями, що багато в чому залежать від будови їх молекул. Це і до такої властивості, як детонаційна стійкість вуглеводнів.

Парафінові вуглеводні нормальної будови дуже схильні до детонаційного згорання, а ізомерної будови з розгалуженим ланцюгом виявляють високу детонаційну стійкість. В міру збільшення молекулярної маси нормальних і ізопарафінових вуглеводнів їх детонаційна стійкість послаблюється. При однаковій розгалуженості цей показник вищий у тих вуглеводнів, у яких бічні ланцюги розташовуються ближче до середини молекули і більш компактні.

Нафтові вуглеводні по детонаційній стійкості займають проміжне положення між нормальними парафіновими і ізопарафіновими вуглеводнями. Детонаційна стійкість нафтових вуглеводнів зростає із збільшенням розгалуженості приєднаної до вуглеводної цепі і знижується при продовженні бічних ланцюгів.

Ароматичні вуглеводні виявляють найбільш високу детонаційну стійкість. У них характер будови бічного ланцюга, приєднаного до ароматичного ядра, впливає на детонаційну стійкість аналогічним чином, але трохи меншою мірою, ніж у нафтових вуглеводнів.

Ненасиченим вуглеводням також властива досить висока детонаційна стійкість. Так, у цих вуглеводнів нормальної будови детонаційна стійкість вища, ніж у відповідних парафінових вуглеводнів. Однак збільшення розгалуженості ненасичених

вуглеводнів у меншій мірі впливає на підвищення їхньої детонаційної стійкості, ніж це спостерігається для ізопарафінових вуглеводнів.

Таким чином, можна зробити висновок, що до складу високоякісних бензинів повинні входити ізопарафінові і ароматичні вуглеводні, що володіють найвищою детонаційною стійкістю.

Високооктанові компоненти і антидетонатори

Антидетонатори. Основним фактором, що впливає на виникнення детонації, є ступінь стиску, від якого залежать температура і тиск у камері згорання. Чим вищий ступінь стиску, тим більша ймовірність виникнення детонації та вищі вимоги до детонаційної стійкості бензину. Враховуючи те, що з підвищенням ступеня стиску двигунів поліпшуються їх техніко-економічні та експлуатаційні показники, вимоги до детонаційної стійкості бензину постійно зростають.

Високі детонаційні стійкості товарних бензинів досягаються трьома основними способами:

Застосуванням сучасних технологій одержання палив, наприклад каталітичного, термічного крекінгу, гідрокрекінгу та каналізаційного риформінгу тощо, що дають можливість одержати базові бензини з октановим числом ОЧМ – 75...80 і ОЧД – 80...94;

Підвищенням октанового числа, для чого додають до 40% високооктанових компонентів (ізооктану, алкілбензину та ін.), що мають ОЧМ близько 100.

Введенням антидетонаторів, тобто хімічних сполук, які при дуже незначній концентрації різко підвищують октанове число бензину. Цей спосіб підвищення детонаційної стійкості найпоширеніший і найбільш ефективний.

Найефективнішим антидетонатором є тетраетилсвинець (ТЕС), який використовується декілька десятиків років. Це важка масляниста безколірна або жовтувата отруйна рідина з високою густиною, добре розчиняється в бензині і має температуру кипіння близько 200 °С. ТЕС не розчиняється у воді. ТЕС вводять в паливо у вигляді етилової рідини (ЕР). Бензин із добавлянням ЕР називають етилованим.

За останні роки проведено випробування і організовано промислове виробництво більш ефективного антидетонатора – тетраметилсвинцю (ТМС). Він має вищу температуру розщеплення і у високооктанових бензинах ефективніше ТЕС на 0,5...1,0 октанову одиницю. Температура кипіння ТМС – 110 °С, що сприяє більш рівному його розподілу між фракціями бензину.

Найбільш ефективним є додавання у бензин невеликих порцій антидетонатора (0,5...1,0 г на 1 л палива). При великих концентраціях

підвищується отруйність бензину, знижується надійність роботи двигуна через утворення оксиду свинцю, який відкладається на стінках камери згоряння, днищі поршнів, клапанах та на електродах свічок, а при цьому ДС підвищується мало.

Значним недоліком цих антидетонаторів є їх висока токсичність, вони негативно діють на центральну нервову систему, мають властивість накопичуватись в організмі, можуть потрапити до організму через шкіру, а також органи дихання. Тому при роботі з етилованими бензинами необхідно дотримуватись суворих заходів безпеки і захисту.

В останні роки зріс інтерес до використання деяких кисневмісних сполук, як високооктанових компонентів автомобільних бензинів, метил-третично-бутиловий ефір (МТБЕ) $C_5H_{12}O$, а також вторинно – (ВБС) і третично-бутилові спирти (ТБС). Вони нетоксичні, корозійно неактивні, добре змішуються з бензином та не руйнують пластмасові і резинові вироби. Октанове число МТБЕ складає 117, а ВБС – 110. Так, наприклад, при додаванні 7,0...10% МТБЕ до бензину суттєво підвищується його октанове число «головної» фракції, тобто це покращує антидетонаційну характеристику легких фракцій бензину. Це дозволяє підвищити потужність двигуна при розгоні автомобіля, тобто підвищити прийомистість автомобіля. Крім того МТБЕ поліпшує склад продуктів згоряння бензину, а також має властивості проти обледеніння карбюратора в зимовий період.

8.5 Марки авіаційних бензинів

Автомобільні бензини в Україні виробляються за ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови», ГСТУ 320.00149943.015-2000 «Бензини моторні сумішеві. Технічні умови».

Згідно з ДСТУ 7687:2015 виробляються бензини автомобільні підвищеної якості, що використовуються як паливо для автомобільних і мотоциклетних двигунів, а також двигунів іншого призначення. Залежно від октанового числа (ОЧ) цей стандарт установлює такі марки бензинів:

А-92-Євро – з ОЧ за дослідним методом не менше, ніж 92;

А-95-Євро – з ОЧ за дослідним методом не менше, ніж 95;

А-98-Євро – з ОЧ за дослідним методом не менше, ніж 98.

За вмістом сірки бензини поділяють на два види: І – вміст сірки не більше як 10 мг/кг; ІІ – вміст сірки не більше як 50 мг/кг.

Згідно з ГСТУ 320.00149943.015-2000, виробляються моторні автомобільні бензини сумішеві неетиловані, що виготовляються з

базових компонентів та з високооктановою кисневмісною домішкою (ВКД) (біостанол) і використовуються як паливо для карбюраторних автомобільних двигунів та мотоциклів (домішка ВКД виготовляється відповідно до ТУ У 30183376.001-2000). Відповідно до цього галузевого стандарту виробляються чотири марки автомобільних бензинів: А-80Ек, А-92Ек, А-95Ек, А-98Ек. Гарантійний термін зберігання становить 3 місяці з дня виготовлення. Цей термін встановлено факультативно, не більше ніж на три роки, для накопичення статистичних даних і може коригуватися протягом цього часу залежно від отриманих результатів.

Традиційне виробництво авіаційного бензину обмежено двома марками: Б-95/130, Б-91/115, причому чисельник означає октанове число бензину за моторним методом, а знаменник – сортність за збагаченою сумішшю. Авіаційні бензини випускають етильованими із вмістом тетраетилсвинцю (ТЕС) не більше 3,1 г/кг та 2,5 г/кг для бензинів Б-95/130 та Б-91/115 відповідно.

Авіаційні бензини – це суміш компонентів, які одержують різними технологічними процесами. На відміну від автомобільних бензинів до складу авіаційних бензинів входять продукти обмеженого числа процесів, при цьому навіть самий низькооктановий компонент має відносно високу детонаційну стійкість – октанове число за моторним методом без ТЕС у межах 70-74 одиниць.

Для одержання авіаційного бензину в якості базової використовують бензин каталітичного риформінгу. Використання в авіаційній техніці бензину Б-91/115, який отримують на базі бензину каталітичного риформінгу, дозволило відмінити промивання всмоктувальної системи двигуна від смолистих відкладень. У якості високооктанових компонентів авіаційних бензинів використовують: алкілат (алкілбензина), вміст якого у бензині Б-95/130 досягає 70 %; у невеликому об'ємі технічний ізооктан та ароматичні вуглеводні, переважно толуол, а також піробензол та алкілбензол.

Авіаційний бензин Б-91/115 переважно отримують на базі бензину каталітичного риформінгу з додаванням 30-40 % алкілатів (або технічного ізооктану) та 8-15 % толуолу. В бензині Б-91/115, що отримують на основі прямогонного бензину нафтової основи, та який має більш високі октанові числа та сортність, ніж бензин риформінгу, вміст алкілату коливається у межах 12-21 %. Для приготування авіаційного бензину Б-91/115 на основі бензину каталітичного крекінгу до базової бензину додають 15-20 % алкілату, 10-30 % легкого бензину прямої перегонки та не більше 6 % ароматичних вуглеводнів, переважно толуолу.

Авіаційний бензин Б-95/130 порівняно з бензином Б-91/115 має вище значення сортності і, враховуючи обмеження за вмістом ароматичних вуглеводнів, під час компаундування до нього додають алкілат у кількості 30-70 %. Передбачається перейти на єдиний сорт авіаційного бензину типу Б-92 зі зниженим (до 2 г/кг) вмістом ТЕС та без нормування сортності.

8.6 Хімічний склад палив для дизельних двигунів. Умови згоряння палива та забезпечення м'якої роботи двигуна. Прокачувальна здатність і сумішоутворюючі властивості дизельних палив

Дизельне паливо (ДП) – це нафтові (газово-газойлеві) фракції, основу яких складають вуглеводневі сполуки з температурою кипіння 200...370 °С. Дизельні двигуни працюють, витрачаючи на 30...40% палива менше, чим бензинові. Основна відмінність у роботі дизеля і бензинового двигуна полягає в сумішоутворенні і запалюванні робочої суміші. В дизелях немає примусового запалювання робочої суміші. В циліндрі двигуна стискується повітря до 3...4 МПа, залежно від ступеня стиснення (в межах 12...21). Внаслідок високого тиску температура повітря підвищується до 500...800°С. У це стиснуте повітря впорскується паливо, яке випаровується, нагрівається до температури самозапалювання і згоряє. Всі ці процеси відбуваються за тисячні частки секунди – 20...40° повороту колінчастого вала (ПКВ).

Дизельні двигуни дуже поширені в усіх галузях економіки: їх встановлюють на тракторах, самохідних шасі, автомобілях. Основні їхні переваги над карбюраторними – висока економічність. Дизельне паливо дешевше за бензини, а витрати його на 30...40 % менші, надійність при експлуатації машин вища, пожежонебезпечність нижча.

Проте дизельне паливо порівняно з бензином має істотний недолік: набагато обмеженіша сировинна база. Дизельне паливо виробляють переважно прямою перегонкою й каталітичним крекінгом із наступним очищенням, тоді як бензин виробляють не лише з нафти, а й із газів, вугілля, важких нафтопродуктів, у тому числі дизельного палива.

Щоб паливо повністю випаровувалось і згоряло, його треба розпилювати на найдрібніші краплинки та рівномірно розподіляти їх по всьому об'єму камери згоряння.

Для забезпечення повного, а також якісного згоряння палива до нього ставляться такі найголовніші експлуатаційні вимоги:

– добра прогонність – здатність нафтопродукту

транспортуватись крізь фільтри, сепаратори, отвори як вимога безперебійної надійної роботи насосу високого тиску;

- забезпечення тонкого розпилення та гарне сумішоутворення;
- надійне запалення;
- повне згоряння; м'яка робота двигуна;
- найменше утворення нагару і відкладень у зоні розпилювачів форсунок та в камері згоряння;

форсунок та в камері згоряння;

- найменша корозійна активність;
- якомога більша стабільність при довгому зберіганні, а також транспортуванні;
- невелика токсичність.

Від якості дизельного палива залежить надійність роботи двигуна і, як наслідок, витрати на його обслуговування та ремонт. Знання властивостей ДП й уміння його застосовувати є одним з аспектів, що визначають використання машин з дизельними двигунами.

Хімічний склад дизельних палив. Дизельні палива складаються більш ніж на 90 % з вуглеводнів – алканових, цикланових, ароматичних та ненасичених.

Найбільш бажаним компонентом дизельних палив щодо самозаймистості є нормальні алкани, а небажаними – ароматичні. Ароматичні вуглеводні є також небажаними компонентом дизельних палив через високу температуру запалювання і, як наслідок, підвищеної здатності до нагароутворення, особливо біциклічні та трициклічні, а також через утворення токсичних речовин у процесі згоряння дизельного палива.

Алкани нормальної будови, особливо тверді (C_{16} і вище), мають високі температури застигання і тому є небажаними компонентами для зимових та арктичних дизельних палив. Циклоалканові вуглеводні є бажаними компонентами дизельних палив, особливо за низькотемпературними властивостями.

Алкени містяться у дизельних паливах у незначних кількостях, оскільки вони потрапляють до його складу внаслідок уведення легкого каталітичного газойлю. Це – небажані компоненти дизельних палив щодо хімічної стабільності. Їх уміст у паливі обмежується йодним числом.

Крім вуглеводнів у дизельному паливі містяться гетероорганічні сполуки. Їх уміст залежить від вихідної нафти і технології вироблення дизельних палив. Якщо паливо виробляють з малосірчистої нафти, то вміст гетероорганічних сполук малий. Гідроочищення фракції дизельного палива також знижує вміст гетероорганічних сполук, особливо сірковмісних, уміст яких переважає. Гетероорганічні сполуки

є небажаними компонентами дизельних палив за: стабільністю, корозійними властивостями й утворенням токсичних речовин у процесі згоряння.

Умови згоряння палива та забезпечення м'якої роботи двигуна

Більш висока, у порівнянні з карбюраторним економічність дизельних двигунів зумовлюється своєчасним займанням та повним згорянням вприснутого палива. Ці фактори узагальнюються збільшенням ступеня стиснення ($\epsilon=14\dots 20$) та забезпеченням достатньою кількістю кисню для згоряння (коефіцієнта надлишку кисню $\alpha=1,4\dots 1,5$) палива.

Від моменту вприскування палива в камеру згоряння і до виникнення горіння та виділення тепла, проходить визначений, хоч і дуже не великий, проміжок часу. Температура, до якої паливо повинно бути нагріто, щоб почалось його займання, називається температурою самозаймання. Вона залежить від хімічної складової палива та зовнішніх умов (тиску, складу робочої суміші, типу камери згоряння тощо). Інтенсивність наростання тиску залежить від кількості палива, що надходить в циліндр у період затримки самозаймання. Чим триваліший цей період, тим більше надійде палива в циліндр. Виділення теплоти і відповідно наростання тиску в циліндрі відбувається різко, тому робота двигуна буде супроводжуватися стуками і її називають «жорсткою». «Жорстка» робота дизельного двигуна так само небажана, як і детонація в карбюраторних двигунах.

Режим роботи двигуна оцінюється зростанням тиску в камері згоряння на 1° повороту колінчастого вала. Якщо тиск зростає на 0,25...0,60 МПа – двигун працює м'яко, при 0,6...0,8 МПа – жорстко, а вище 0,8 МПа – дуже жорстко. Таким чином для нормальної роботи двигуна необхідно щоб паливо самозаймалось у чітко визначений момент і потім енергійно згоряло, але достатньо плавно із зростанням тиску не більше 0,4...0,6 МПа на один градус повороту колінчастого вала. У цьому випадку буде, так звана, «м'яка» робота двигуна, при якій розвивається максимальна потужність і забезпечується необхідна паливна економічність.

Порівнюючи вплив окремих факторів на жорсткість роботи дизельного двигуна та детонацію карбюраторного двигуна, які характеризуються появою стуків, потрібно відмітити, що як збільшення кута випередження вприскування палива, так і збільшення кута займання аналогічно погіршують роботу двигуна. Однаковий ефект дає і підвищення частоти обертання колінчастого вала: у карбюраторних двигунів зменшується детонація, а у дизельного знижується жорсткість

роботи. Це пояснюється деякими загальними рисами протікання фізичних та хімічних процесів згоряння палива. Так, для відмічених факторів головну роль відіграє час, який відводиться на процес окислення та згоряння палива. Дійсно, в карбюраторних двигунах скорочення часу на окислювальні процеси сприяє пониженню детонації. У дизельному ж двигуні зменшується період затримки самозаймання та швидкого займання, що сприяє зниженню інтенсивності наростання тиску та робить роботу двигуна більш м'якою.

Усі інші фактори (ступінь стиску, температура деталей двигуна, з якими вступає в контакт робоча суміш, температура засмоктаного повітря та його щільність, наявність наддуву тощо) надають прямо протилежну дію на характер роботи (виникнення стуків) двигунів цих типів.

Щоб пояснити таку розбіжність, необхідно відмітити наступне. Швидкість протікання процесів сумішоутворення та окислення під час фази затримки самозаймання палива залежить від температури. З її підвищенням ці процеси прискорюються, а це значить, тривалість фази затримки зменшується. Тому фактори, які сприяють підвищенню температури у дизельному двигуні до початку і під час вприскування, забезпечують більш м'яку його роботу; у карбюраторному ж двигуні ті ж фактори ведуть до виникнення детонаційного згоряння.

Якщо ж розглядати конструктивні фактори, такі, як підвищення ступеня стиску, використання наддуву тощо, то вони приводять не тільки до зростання тиску, але й до підвищення температури, а це сприяє прискоренню хімічних реакцій, що для дизельних двигунів значить більш м'яку роботу, а для карбюраторних двигунів посилення передумов до детонації. З ростом ступеня стиску температура та тиск у камері згоряння збільшується, що призводить до зменшення періоду затримки самозаймання.

Протилежний вплив дає і хімічний склад палива. Наприклад, якщо ароматичні вуглеводи сприяють підвищенню детонаційної стійкості бензинів, то їх кількість у дизельному паливі викликана великою затримкою до утворення окисних сполучень, збільшує фазу періоду затримки самозаймання та призводить до жорсткої роботи. Та, навпаки, збільшення вмісту у дизельному паливі нормальних парафінів, у силу їх схильності до легкого утворювання окисних сполучень, скорочує період затримки самозаймання та сприяє м'якій роботі.

Попутно можна відзначити інші конструктивні та експлуатаційні фактори, які впливають на характер роботи дизельного двигуна. Так, підвищення температури та тиску повітря на вході в циліндри двигуна

також сприяє зниженню періоду затримки самозаймання. Чимале значення має й своєчасність вприскування палива. Якщо вприскування раннє у порівнянні з оптимальним, то за рахунок займання та передчасного згоряння частини палива може розвиватися значний тиск ще до приходу поршня у верхню мертву точку (ВМТ), який викличе втрату потужності на переборення тиску горючих газів, що також недопустимо. Таким же чином на процеси горіння впливає і конструкція камери згоряння. Вона повинна забезпечувати інтенсивне утворення вихорів, що скорочуватиме час розігрівання та випаровування вприснутого палива.

Важливий і правильний вибір матеріалу для деталей циліндро-поршневої групи. Наприклад, в якості матеріалу для поршнів краще чавун, оскільки через меншу теплопровідність температура чавунного поршня в одних і тих же умовах буде вищою алюмінієвого, що в свою чергу буде сприяти більш інтенсивному нагріванню палива та зменшенню періоду самозаймання.

Прокачувальна здатність і сумішоутворюючі властивості дизельних палив

Надійність подачі дизельного палива залежить від прокачувальної здатності, тобто його здатності проходити через елементи системи живлення, головним чином через фільтри грубої та тонкої очистки. Фільтри грубої очистки затримують механічні домішки розміром більше 50...60 мкм, тонкої більше 2...5 мкм. При порушенні їх роботи зменшується, а іноді зовсім припиняється циклова подача палива, падає тиск вприскування палива тощо.

На характер надходження палива через систему живлення дизеля впливають його в'язкість і низькотемпературні властивості, а також забрудненість механічними домішками і водою.

Якщо паливо має високу в'язкість та його фільтрація обмежена – це може призвести до порушення подачі палива насосом. При малій в'язкості порушується дозування палива внаслідок просочування його між плунжером і гільзою насосу високого тиску. Крім того, дизельне паливо є мастильним матеріалом для прецизійних деталей системи живлення, тому мінімальна і максимальна його в'язкість регламентується ГОСТом.

В'язкість і низькотемпературні властивості палива взаємопов'язані і негативно впливають на його прокачувальну здатність при низьких температурах.

Подача палива при низьких температурах може порушуватися внаслідок забивання фільтрів кристалами парафіну. Такий стан палива визначається температурою помутніння. Це температура, при

оохолодженні до якої паливо втрачає прозорість в наслідок виділення мікрокристалів парафіну, церезину і льоду.

Для надійної подачі палива у зимовий період температура помутніння повинна бути на 3...5 °С вища тієї, при якій воно використовується.

Низькотемпературні властивості палива характеризують температура кристалізації і температура застигання. За температуру кристалізації приймають таку температуру, при якій в паливі з'являються перші кристалики, які можна побачити неозброєним оком. Температурою застигання називають температуру, при якій налите у пробірку паливо, під час охолодження в певних умовах, досягне такого стану, що не змінює положення меніску протягом однієї хвилини при нахиленні пробірки на 45°.

Застигання палива настає при зниженні температури на 5...15 °С після його помутніння. Температура застигання – це важливий показник дизельного палива, який визначає можливість його використання при низьких температурах і входить в умовне позначення зимових дизельних палив. Для надійної роботи системи живлення найнижча температура навколишнього середовища повинна бути на 10...15 °С вищою температурою застигання.

Температури помутніння і застигання не завжди відтворюють реальну поведінку дизельного палива при його використанні в зимових умовах. Більш точно характеризує прокачувальну здатність дизельного палива при низьких температурах гранична температура фільтрації палива. Це температура, при якій паливо, після охолодження в певних умовах, ще здатне проходити через фільтри з установленою швидкістю.

Визначають граничну температуру фільтрації за допомогою спеціального приладу, вона як правило буває нижче температури помутніння, але вище температури застигання. Однак положення її в цьому інтервалі температур може бути різним: або ближче до температури помутніння, або – до температури застигання.

На нафтопереробних заводах покращують низькотемпературні властивості дизельних палив видаленням твердих вуглеводів при депарафінізації або додаванням присадок – депресорів. При цьому застосовують присадки суміші сополімерів етилену з вінілацетатом, які суттєво на 20 °С і більше понижають температуру застигання і граничну температуру фільтрації палив, але практично не змінюють температуру помутніння.

В умовах експлуатації температуру застигання і помутніння понижують, розбавляючи літнє дизельне паливо реактивним паливом

або бензином, в яких температура початку кристалізації не вище мінус 60 °С. При цьому температура помутніння знижується на 10...11 °С, а температура застигання – на 20...22 °С. Однак використовувати кількість розчинника більше 50% (за об'ємом) не рекомендується, так як значно знижується цетанове число і в'язкість суміші, що призводить до зниження надійності і економічності дизеля.

На процес сумішоутворення дизельного палива з повітрям в основному впливають конструктивні особливості двигуна і властивості палива.

Процес сумішоутворення в дизельних двигунах залежить також від фізико-технічних властивостей палива: в'язкості, густини, фракційного складу, тиску насиченої пари, поверхневого натягу тощо.

Збільшення в'язкості палива веде до збільшення крапель у полум'ї, що значно погіршує його розпилення і випаровування.

Паливо з великою в'язкістю догорає в кінці такту розширення, знижуючи економічність і підвищуючи димність відпрацьованих газів. З іншого боку, паливо з малою в'язкістю також погіршує процес сумішоутворення. При його розпилюванні утворюються дрібні краплі, швидкість яких у щільному повітрі швидко падає, утворюючи вкорочений факел. Внаслідок цього не весь об'єм камери згорання використовується для приготування однорідної суміші і не все повітря бере участь у сумішоутворенні, що призводить до надлишку палива і не повного його згорання. У зв'язку з цим в'язкість дизельного палива повинна бути цілком оптимальною, щоб забезпечити належне сумішоутворення.

Густина дизельного палива суттєво впливає на процес сумішеутворення, приблизно так само, як і в'язкість. З підвищення густини збільшується довжина факела, знижується економічність і зростає димність відпрацьованих газів.

Важливою характеристикою для розпилювання дизельного палива є поверхневий натяг – розмір крапель пропорційний величині поверхневого натягу. Із збільшенням фракційного складу палива, підвищується його густина, а поверхневий натяг збільшується.

Дизельне паливо повинно мати певний фракційний склад. Використання палива як важкого, так і легкого фракційного складу призводить до порушення роботи двигуна. В першому випадку внаслідок його незадовільного випаровування відбувається несвоєчасне самозаймання і неповне згорання, що призводить до змивання мастила зі стінок циліндрів, збільшення нагару, розрідження мастила в картері тощо. У другому випадку ускладнюється пуск двигуна, збільшується жорсткість його роботи. Вплив фракційного складу палива на

сумішоутворення різних типів двигунів не однаковий. Двигуни з розділеними камерами згоряння менш чутливі до фракційного складу палива, ніж двигуни з нерозділеними камерами згоряння.

Стандартом передбачається визначати температуру перегону 50 і 96 % палива: $t_{50\%}$ – впливає на його пускові властивості; $t_{96\%}$ – є температурою кінця перегонки і свідчить про наявність важких фракцій, які погіршують сумішоутворення.

У зв'язку з «дизелізацією» автомобільного парку і зростання потреб у дизельному паливі, вивчаються питання розширення ресурсів таких палив шляхом зміни їх фракційного складу як за рахунок підвищення температури кінця кипіння, так і за рахунок зниження температури початку кипіння.

Палива з підвищеною температурою кінця кипіння називають обваженими. Лабораторні дослідження і випробування показують, що можна збільшити ресурси дизельного палива на 3...4% за рахунок більш глибокого відбору з нафти прямогонних фракцій з температурою википання на 25...30 °С вище температури википання стандартного дизельного палива.

Полегшення фракційного складу за рахунок введення бензинових фракцій покращує експлуатаційні властивості обважених палив. Таким чином при значній «дизелізації» автомобільного парку перспективним буде використання єдиного дизельного палива з температурою початку кипіння 66...80 °С, яке називається – дизельне паливо широкого фракційного складу (ШФС).

8.7 Оцінка самозаймистості і цетанове число палива. Асортимент палив для дизельних двигунів та область їх застосування

Самозаймистість – це характеристика тих властивостей дизельного палива, які впливають на м'якість і жорсткість роботи дизельного двигуна. Для нормальної роботи дизеля необхідно, щоб паливо самозаймалось у чітко визначений момент і потім енергійно згорало, викликаючи інтенсивне, але достатньо плавне підвищення тиску, не перевищуючи 0,4...0,6 МПа на один градус повороту колінчастого валу. У цьому випадку буде, так звана, «м'яка» робота двигуна, при якій розвивається максимальна потужність і забезпечується необхідна паливна економічність. Якщо самозаймання запізнюється, то це призводить до жорсткої роботи двигуна. Визначають самозаймистість, порівнюючи роботу стандартного

двигуна на досліджувальному паливі і на спеціально підібраній суміші еталонних палив.

Оціночним показником, що характеризує самозаймистість дизельного палива, є цетанове число, яке визначається методом порівняння займистості палива із займистістю суміші двох вуглеводнів (двох еталонів). В якості одного еталона прийнятий цетан ($C_{16}H_{34}$) – парафіновий вуглевод нормального складу, період затримки самозаймання якого малий. Його цетанове число (ЦЧ) приймають за 100. У якості другого еталона прийнятий альфаметилнафтелін ($C_{10}H_7CH_3$) – ароматичний вуглевод із циклічним бензольним ядром, період затримки самозаймання якого великий, і цетанове число дорівнює 0.

Цетанове число дорівнює відсотковому вмісту (за об'ємом) цетану в такій суміші з альфаметилнафталіном, що рівноцінна даному паливу за самозаймистістю при випробуванні в стандартних умовах. Визначають цетанове число на спеціальних установках, конструкція яких забезпечує зміну ступеня стиску у межах 7...23, різними методами: змінами критичного ступеня стиску, запізнення самозаймання, збігу спалахів тощо. Найбільшого поширення набув метод збігу спалахів, суть якого наступна.

При роботі установки на дизельному паливі, ЦЧ якого визначають, змінюючи ступінь стиску прагнуть досягнути такого положення, щоб при вприскуванні палива за 13° повороту колінчастого вала до ВМТ самозаймання горючої суміші починалось рівно у ВТМ, про що повідомляють спеціальні датчики. Потім підбирають таку суміш цетану з альфаметилнафтеліном, яка при тому ж ступеню стиску мала б такий же період затримки самозаймання (13°). Вміст цетану в такій суміші у відсотках за об'ємом і приймають за цетанове число.

Цетанове число дизельних палив залежить від їх вуглеводневого складу, структури і молекулярної маси. Оптимальне значення цетанового числа 40...50. Використання палива з цетановим числом менше 40 призводить до жорсткої роботи двигуна, а більше 50 – до збільшення питомої витрати палива за рахунок зменшення повноти згоряння. Влітку можна успішно застосовувати паливо з цетановим числом 40, а взимку, для забезпечення пуску холодного двигуна, цетанове число повинно бути не менше 45.

Величина цетанового числа впливає на пускові властивості дизельного палива. З підвищенням цетанового числа пуск двигуна полегшується. Однак це стосується палив, які не значно відрізняються за фракційним складом. При більшій різниці у фракційному складі

важке паливо з високим цетановим числом часто має гірші пускові властивості, ніж легке паливо з більш низьким цетановим числом.

Цетанові числа можуть бути підвищені двома способами: регулюванням вуглеводного складу або введенням нових присадок.

Асортимент палив для дизельних двигунів та область їх застосування.

Відповідно до ГОСТ 305-82 для швидкохідних дизельних двигунів випускають три марки дизельних палив залежно від сезонності або географічних областей використання: Л – літнє, З – зимове і А – арктичне. Крім того для кожної марки окремо обумовлена кліматична зона – помірна або холодна, а також види палива: І – масова частка сірки не більше 0,2%, ІІ – масова частка сірки не більше 0,5 %.

Кліматична зона використання дає можливість розділити паливо однієї і тієї ж марки за температурою помутніння і застигання, вид палива – за максимально допустимим вмістом сірки. Палива для помірної кліматичної зони мають більш високу температуру помутніння і застигання, ніж для холодної.

Паливо «Л» використовують влітку в помірній і холодній кліматичних зонах за умови, що температура навколишнього повітря навіть тимчасово не знижується нижче 0°C.

Паливо «З» призначене для двох кліматичних зон: для помірної з температурою повітря не нижче мінус 20 °С (температура застигання не вище мінус 35 °С) і для холодної – з температурою повітря не нижче мінус 30 °С (температура застигання не вище мінус 45 °С).

Паливо «А» застосовують при температурі навколишнього середовища мінус 50 °С і вище (температура застигання не вище мінус 55 °С). Температура помутніння для нього не нормується, тому що припускається, що це паливо піддається глибокій депарафінізації.

Палива за ГОСТ 305-82 одержують компаундуванням (змішуванням) фракцій прямої перегонки і гідроочистки у співвідношеннях, які забезпечують вимоги стандарту за вмістом сірки. Сировиною для гідроочистки є суміш середньодистильних фракцій прямої перегонки і легкого газойлю каталітичного крекінгу.

Відповідно до стандарту, в умовному позначенні літнього палива вказують граничний вміст сірки і температура спалаху, що допустимі для даного палива. Норма сірки вказує на вид палива, а температура спалаху на область використання, так як для палив, що використовуються для тепловозних і суднових двигунів, а також для газових турбін, температура спалаху (закритий спосіб) повинна бути на 21 °С вище, ніж для двигунів загального призначення. При позначенні зимових палив замість температури спалаху вказують температуру застигання. При

позначенні арктичних палив вказується тільки граничний вміст сірки. Якщо будь-які з вказаних марок палив вищої якості, то незалежно від виду палива вміст у ньому сірки не повинен перевищувати 0,2%, фактичних смол – 25 мг на 100 см³ і сажі – 0,008 %.

Дизельне експортне паливо виготовляють для поставок на експорт із вмістом сірки до 0,02 %, для чого дизельні фракції прямої перегонки піддають гідроочистці. Для оцінки його якості, за вимогою споживачів, визначають дизельний індекс, а не цетанове число. Крім того, замість визначення вмісту води і коефіцієнта фільтрувальності експрес-методом визначають прозорість палива при температурі 10 °С. Експортне паливо випускають марок ДЛЕ і ДЗЕ.

Для середньо- і тихохідних дизельних двигунів, з частотою обертання до 1000 об/хв (ГОСТ 1617-68) виробляють паливо марок ДТ і ДТ* та ДМ вищої якості. Вони відрізняються в'язкістю, коксованістю і температурою застигання.

Паливо цих марок – суміш дистилатів з залишковими продуктами (мазугом) прямої перегонки або крекінгу. Двигуни, в яких використовують таке паливо, експлуатують в основному на стаціонарних і напівстаціонарних установках.

Паливо ДТ призначено для дизелів, не обладнаних системою підготовки палива, а паливо ДМ (мазут) – для суднових тихохідних дизелів, обладнаних системою попередньої підготовки палива (нагрівання до температури 60... 70 °С, відстоювання, фільтрування).

8.8 Газоподібні палива

Газоподібне паливо – це суміш різних газів (горючих і негорючих). Основними горючими компонентами є водень, оксид вуглецю, метан та газоподібні вуглеводні: етан, пропан, бутан, іноді сірководень. Негорючі компоненти – вуглекислий газ, азот, кисень.

Порівняно з іншими видами газоподібне паливо має такі переваги:

- дешеве і після вугілля найпоширеніше, з великими запасами;
- згоряє в майже теоретичній кількості повітря, що забезпечує високий коефіцієнт корисної дії і більшу температуру згорання;
- при згорянні не утворює небажаних продуктів (сірчистих сполук, кіптяви і диму);
- легко запалюється при будь-якій температурі навколишнього повітря;
- може бути використане в стиснутому і зрідженому стані;

– для зберігання газу не потрібні спеціальні складські приміщення, оскільки його подають по газових магістралях.

Газоподібне паливо має й негативні властивості:

– утворює вибухові суміші з повітрям (природний газ, метан, водень);

– легко витікає через нещільності;

– гази, до складу яких входить оксид вуглецю (генераторний, змішаний, світильний, водяний, коксовий) дуже отруйні.

Як і інші види палива, газоподібне поділяють на:

– природне – використовується в тому вигляді, в якому воно знаходиться в надрах землі (природний газ газових родовищ і супутний);

– штучне – гази, які одержують як побічний продукт при переробці нафти і твердого палива або спеціально за допомогою газогенераторів (доменний, коксовий, генераторний).

Залежно від фізичних властивостей гази можуть бути:

– зріджені – гази з відносно високою критичною температурою, при підвищенні тиску до 1,0... 1,5 МПа переходять у рідкий стан, в основному це пропан-бутанові вуглеводні;

– стиснуті – гази з низькою критичною температурою, які залишаються в газоподібному стані при нормальній температурі навіть при дуже високому тиску (до 20 МПа), до них належать метан, оксид вуглецю, водень, етилен.

Газоподібне паливо за теплою згоряння поділяють на три групи:

– висококалорійне, з теплою згоряння понад 20000 кДж/м³ (природні гази газових родовищ і супутні, нафтовий газ);

– середньокалорійне, з теплою згоряння 10000...20000 кДж/м³ (коковий, світильний та ін.);

– низькокалорійне, з теплою згоряння до 10000 кДж/м³ (доменний, генераторний та ін.).

З усіх видів газоподібного палива найпоширеніші природні гази, які поділяють на дві групи:

– гази газових родовищ;

– супутні, які добуваються разом з нафтою.

Природні гази чисто газових родовищ за складом і тепловою цінністю відрізняються між собою незначно. Головною їх складовою є метан – СН₄.

Для природного газу, який надходить по трубопроводу, нормується тільки вміст шкідливих домішок: сірководню, аміаку, смол,

пилу, вологи тощо. За сортами і марками їх не поділяють. Природний газ має низьку критичну температуру (мінус 161°C при атмосферному тиску і мінус 82°C при тиску 4,6 МПа). Тому навіть при високому тиску він знаходиться в газоподібному стані і його називають стиснутим. До таких газів відносять і деякі штучні.

Супутний нафтопромисловий газ, крім метану, містить більш важкі газоподібні вуглеводні, кількість яких залежить від складу нафти того чи іншого родовища. В багатьох випадках газовий фактор (кількість газу в кубічних метрах на одну тону нафти) дуже високий (50... 100 м³). Вуглеводні з числом атомів вуглецю 1...4, які входять у склад нафти, при нормальних умовах, перебувають у газоподібному стані, їх уловлюють при добуванні нафти. Теплоота згоряння супутного нафтопромислового газу вища, ніж газів газових родовищ, але його використовують головним чином як сировину для хімічної і нафтохімічної промисловості.

Зріджений газ широко використовують для газозабезпечення сільської місцевості і районів, що не підключені до газової мережі, а також як паливо в котельно-побутових і невеликих теплоустановках (у теплицях, на тваринницьких фермах тощо). Зріджений газ – це легкоконденсуючі при стиску газоподібні вуглеводні.

Основним компонентом зрідженого газу є пропан – важкий газ (густина по відношенню до повітря 1,52). Він створює оптимальну величину тиску насиченої пари, що особливо важливо для зниження маси газових балонів транспортних установок.

Етан – газ, що за густиною близький до повітря. Одержують його з супутних нафтових газів, входить до складу зріджених газів у незначній кількості, але підвищує загальний тиск насиченої пари і тим самим забезпечує в зимовий період надлишковий тиск, який необхідний для нормальної роботи газобалонних установок.

Бутан має два ізомери, густина відносно повітря 2,06..2,09. Одержують з тих же нафтопромислових газів, що і пропан. Є найбільш висококалорійним компонентом зріджених газів. При температурі мінус 0,5°C і нормальному атмосферному тиску він переходить у рідкий стан, що не дозволяє використовувати його в зимовий період для комунально-побутових потреб.

Пентан – важкий газ, густина відносно повітря 2,67. У більшості випадків знаходиться в рідкому залишку і при 20 °C не повинен перевищувати 1...2 % об'єму зрідженого газу, тому що він різко знижує пружність парів і підвищує точку роси.

Зріджені гази відповідно до ГОСТ 20448-80 випускають таких марок:

- СПБТЗ – суміш пропану і бутану технічна зимова;
- СПБТЛ – суміш пропану і бутану технічна літня;
- БТ – бутан технічний.

Зріджений газ надходить до споживачів у цистернах або в тонкостінних балонах під тиском 1,6 МПа.

Штучне газоподібне паливо можна отримати шляхом газифікації твердого палива або його сухою перегонкою (суть процесів розглядається у відповідних розділах і главах). За допомогою газифікації твердих палив одержують: генераторний газ, змішаний, водяний та ін.; при сухій перегонці: напівкоковий, коксовий, світильний та ін.

Генераторний газ отримують шляхом газифікації твердих палив у газогенераторах.

Змішаний генераторний газ одержують при подачі до газогенератора змішаного пароповітряного дуття. Водяна пара розкладається і збагачує горючу частину газу воднем. Порівняно з генераторним газом, змішаний містить більше водню, метану і менше азоту. У зв'язку з цим теплота згоряння його буде вищою, ніж генераторного.

Водяний газ одержують, пропускаючи водяну пару через розжарений шар палива. Склад водяного газу залежить від палива, яке газифікується. Теплота згоряння 10420 кДж/м³. Кращим паливом для одержання водяного газу є кокс і антрацит. При згорянні водяного газу утворюється висока температура (до 2800 °С), завдяки чому його застосовують для зварювання і різання металів, синтезування штучного рідкого палива, а також добування водню для гідрогенізаційних процесів.

Коксовий газ. Головною складовою частиною коксового газу є водень (біля 50%), вміст якого збільшується з підвищенням температури коксування, і метан (біля 25 %). Теплота згоряння коксового газу 15500... 21600 кДж/м³.

Напівкоковий газ відрізняється від коксового більшим вмістом вуглеводнів і меншим вмістом водню. Основною горючою частиною напівкокового газу є метан (40...50 %). Теплота згоряння цього газу залежить від вихідного палива і середнє значення приблизно дорівнює 24000 кДж/м³.

Світильний газ одержують під час сухої перегонки твердих видів палива при більш високих температурах (1000...1200 °С), ніж при коксуванні вугілля, за тепловою цінністю приблизно дорівнює коксовому газу, теплота його згоряння 8400...23100 кДж/м³.

Доменний (колосниковий газ) виділяється під час плавки руди в доменних печах. За складом він наближається до генераторного газу і належить до низькокалорійних з теплою згоряння 3800...5300 кДж/м³.

Нафтовий газ одержують шляхом перегонки важких залишків нафтопереробних або смолопереробних заводів. Із газів сухої перегонки нафтовий газ має найбільшу теплоту згоряння 35700 кДж/м³, використовують його в основному для спалювання у газових двигунах, газового зварювання тощо.

8.9 Палива на основі ефірів та спиртів

Необхідними умовами подальшого розвитку автомобільного транспорту мають бути економія палива й зменшення обсягів шкідливих викидів у атмосферу. До перспективних шляхів досягнення цього належить часткова або повна заміна традиційних нафтових палив на палива іншого походження: палива з вугілля, синтетичні палива, спирти, газові конденсати, метилтретиннобутиловий ефір, водень і водобензинові емульсії, в одних випадках вирішення проблеми перебуває на рівні дослідження (використання водню), в інших – на стадії успішних експериментів на серійних машинах (використання спиртів).

До перспективних видів палив сформувалися певні вимоги: вони повинні мати такі фізико-технічні властивості, щоб не потрібно було докорінно змінювати конструкцію двигуна, паливної апаратури й умови зберігання палива в баках машин, а також могли б забезпечити підвищення економічної ефективності роботи двигуна та економію бензину.

Сировиною для виробництва синтетичних бензинів є нафтові залишки і вугілля. Тому процес переробки з вугілля зводиться не тільки до добування палива, а й до вилучення небажаних речовин.

Процес отримання палива з вугілля відбувається в дві стадії:

– спочатку вугілля або смолу розтирають з важкими олівами до утворення пасти, а потім гідрують під тиском 25...70 МПа в присутності каталізатора – заліза;

– одержану пасту переганяють, а фракції з температурою кипіння понад 325 °С знову піддають гідрогенізації (гідруванню), що полягає в приєднанні водню до хімічних елементів або сполук під впливом каталізатора (металів, оксидів, сульфідів).

Залежно від умов проведення процесу продуктами переробки можуть бути бензин, дизельне паливо і мазут. Октанове число синтетичних бензинів дорівнює 69,5, отже, його потрібно підвищувати.

Синтетичне рідке паливо для двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) отримують синтезом із суміші водню й оксиду вуглецю, які виробляють з нафтових речовин, природних газів і вугілля. В результаті цього одержують бензин з октановим числом 60...80 (за дослідницьким методом), високоякісне дизельне паливо і парафін. Синтезують також високоякісні компоненти палив (наприклад, ізооктан, алкілбензол), що підвищують антидетонаційні властивості.

На відміну від нафти та вугілля синтетичний бензин містить багато кисню (до 20 %), сірки, азоту і мінеральних речовин (попелу).

Характерно, що в одержаних речовинах відсутня сірка, а це значно підвищує їхню якість. Але виробництво 1 т синтетичного палива потребує від 3 до 6 т вугілля, тому це паливо поки що в 1,5...2 рази дорожче за бензин і практично не застосовується.

Метанол і етанол (метиловий спирт) можна виробляти з природного газу, вугілля, біомаси або міських відходів. У США метанол в основному виробляють з природного газу. Проте виробництво метанолу потребує великих енергетичних витрат. Економічнішим є виробництво метанолу з вугілля, хоч і цей процес вимагає значних енергетичних витрат.

Енергетичний коефіцієнт корисної дії виробництва метанолу з вугілля становить приблизно 45...50 %, тобто трохи вищий, ніж при виробництві дизельного палива і бензину, значення якого досягає 40 %. При виробництві метанолу з деревини цей коефіцієнт коливається в межах 42...50%, а з природного газу – 60...70 %.

Промисловий синтез метилового спирту (метанолу) ґрунтується на тому, що оксид вуглецю в присутності каталізаторів (оксидів цинку та хрому) відновлюється воднем до метилового спирту. Але для процесу синтезу необхідна висока температура (близько 450 °С) і тиск приблизно 20 МПа.

Метанол є чудовим паливом для двигунів внутрішнього згорання, оскільки має високе октанове число (вище 100) і при згорянні метанолу зменшується кількість небажаних речовин.

Метанол має істотні переваги:

- можливість використання збіднених сумішей ($a = 1,05...1,1$), що знижує витрати палива;
- суттєве зменшення у відпрацьованих газах оксиду азоту (в 1,5...2 рази) і вуглеводнів (в 1,3...1,7 рази);
- оксиди вуглецю виділяються в такій самій кількості, як і при роботі на бензині.

Однак при переведенні двигуна на метанол необхідні деякі конструктивні зміни паливної апаратури і в деякій мірі в самій машині.

При цьому треба:

- встановити обладнання, яке полегшувало б запуск, особливо за мінусових температур повітря;
- збільшити місткість паливних баків;
- замінити деякі матеріали паливної системи на більш стійкі, бо метанол агресивний;
- встановити устаткування для підігріву суміші, оскільки робота на метанолі пов'язана зі значними переохолодженнями паливоповітряного тракту.

Враховуючи зазначені недоліки поки що рекомендують використовувати як домішку до бензину, наприклад, суміш М 15 (15% метанолу та 85 % бензину). В цьому випадку досягають таких позитивних результатів:

- немає потреби вносити конструктивні зміни в двигун і знову регулювати паливну апаратуру;
- можна працювати на бензині з меншим октановим числом і замінити етильований бензин на неетильований;
- немає потреби в стабілізаторі, адже за значного додавання метанолу суміш зберігає свою стабільність;
- при додаванні всього 3...5 % метанолу забезпечується економія бензину на 2,5 % при збереженні потужності, динамічних і економічних показників, а також рівня токсичності відпрацьованих газів.

Стійкий запуск холодного двигуна для суміші М15 (так позначають бензин із 15 % добавкою метанолу) забезпечується за температури повітря -26 °С. За нижчих температур рекомендується підігрівати повітря при застосуванні паливоповітряної суміші або додавати до палива легкі компоненти.

При роботі на метанолі розбухають манжети насосів, а отже, збільшується кількість їхніх відмов.

Серйозні проблеми пов'язані з низькою стабільністю бензометанольних сумішей і чутливості їх до води. Так, суміш стає практично непридатною для експлуатації навіть при збільшенні води в ній від 0,2 до 1 %, оскільки температура розшарування за наявності води збільшується від – 20 до 10 °С.

Отже, процес розшарування активізується за умови зниження температур, збільшення концентрації води і зменшення спиртових добавок.

Вважається, що через високу леткість метанолу необхідна щільніша герметизація паливоподавальної системи і ретельне виконання правил техніки безпеки. Гранична концентрація парів

метанолу становить 5 мг/м^3 , що значно вище, ніж у антидетонаторах тетраетилсвинцю (ТЕС) та тетраметилсвинцю (ТМС).

Аналогічні властивості має й етиловий спирт (етанол), але за деякими показниками він перевищує метанол і може застосовуватись у двигунах як у суміші з бензином, так і самостійно. Після модернізації двигунів метанол і етанол можуть застосовуватися в суміші з дизельним паливом як домішка в кількості 15... 20 %. При додаванні спирту значно знижується в'язкість палива, зменшується густина, оскільки питома вага спирту менша. Це сприяє кращому сумішоутворенню, горінню і, як наслідок, збільшенню потужності та поліпшенню пуску двигуна при низьких температурах.

Ці суміші не викликають корозію і не забруднюють паливну систему дизеля. Однак, поки що застосування домішок у вигляді синтетичних спиртів обмежене через високу вартість самих спиртів і присадок, які стабілізують паливоспиртові суміші. Але метанол є сировиною і для звичайних синтетичних бензинів.

Метилтретиннобутиловий ефір (МТБЕ). Цей продукт отримують при взаємодії метанолу з ізобутиленом в присутності каталізатора.

Позитивні якості МТБЕ при доданні до бензину:

- октанове число (ОЧ)=117, тому значно підвищує детонаційну стійкість (ДС) бензину при доданні 10 % на 2,1...5,9;
- висока теплотворна здатність (37700 кДж/кг);
- полегшується фракційний склад, при цьому знижується $t_{50\%}$;
- трохи поліпшується потужність та економічні показники двигуна в усьому діапазоні навантаження і частоти обертання колінчастого вала;
- знижується токсичність відпрацьованих газів приблизно на 10% завдяки зменшенню оксиду вуглецю;
- зменшується витрата бензину на 3%.

8.10 Перспектива розвитку альтернативних видів палив. Проблеми використання та впровадження нових видів палив

Газові конденсати – це рідкі вуглеводні, які знаходяться в підземних пластах під тиском 4,9...9,8 МПа та температурі до 1500 °С і конденсуються за нормальних умов із природних газів. Усі газові конденсати складаються в основному із нафтових і парафінових вуглеводнів, отримують із нафти прямою перегонкою газового конденсату, а також як суміш фракцій газового конденсату з товарним дизельним паливом. Воно рекомендується при експлуатації дизелів у північних умовах при температурі повітря мінус 45 °С і вище. Це паливо

токсичне і вибухонебезпечне, шкідливо діє на центральну нервову систему, подразнює слизові оболонки очей та верхніх дихальних шляхів (гранична концентрація парів вуглеводнів у перерахунку на вуглець є 300 мг/м^3).

Вибухонебезпечні суміші виникають при вмісті парів газоконденсатного палива у повітрі за об'ємом у повітрі від 1,4 % до 8 %. Температура запалювання становить – $50 \text{ }^\circ\text{C}$, самозапалювання – $250\text{...}3700 \text{ }^\circ\text{C}$. Цетанове число і густина газоконденсатного палива менше, ніж у звичайного ДП, що зумовлює велику затримку запалювання і зменшує його подачу. При відповідному регулюванні паливної апаратури дизеля його потужність, а також ефективність та економічність показників роботи практично не змінюється.

Водень

Використання водню, як пального має ряд переваг. Тож перший двигун запрацював на водні у 1854 р. Серед позитивних аспектів використання водню можна виділити наступні:

1. Необмежена сировинна база:

- в атмосферному повітрі міститься 3,5 10-6 %;
- у літосфері і гідросфері – 1 %;
- у воді 11,19 %.

2. Можливість виробництва його із природного газу, коксового газу, газів нафтопереробки, електролізом води.

3. Висока теплота згоряння (120 МДж/кг).

4. Відсутність шкідливих речовин у продуктах згоряння.

5. Легкість транспортування.

Однак існують певні недоліки та обмеження у використанні водню серед яких:

1. $-t_{\text{кр.}} = -239 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. ОЧД = 70.

3. Важко зберігати у рідкому стані.

4. Явище водневої крихкості металу.

5. Дострокове запалювання робочої суміші в циліндрах, жорстке її згоряння, виникнення детонації, спалахів у впускному трубопроводі.

Слід зазначити, що використання водню можливо:

1. Як основне паливо;

2. Як домішки;

3. Залежно від стану: зрідженому, стисненому, твердому (гідриди).

Незважаючи на зазначені недоліки водень є перспективним паливом загалом і для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) зокрема. Нині він цікавий, як домішка до рідкого палива для його збагачення

висококалорійним компонентом. При цьому двигун не потребує ніяких змін.

Встановлено, що домішки водню залежать від режиму роботи двигуна. В режимі холостого ходу, малих і середніх навантажень для забезпечення оптимальних потужнісних та динамічних показників його потрібно близько 20...25 %, а в режимі середнього і повного навантаження (на трасі) значно менше. Тому бензиноводневі суміші найдоцільніше застосовувати на автомобілях інтенсивного міського руху (економія бензину – 50...55 % бензину).

Для комбінованого постачання бензиноводневої суміші, коли витрата водню невелика (близько 29 % основного палива), водень можна використовувати в стисненому стані.

При використанні водню в чистому стані зберігати і застосовувати його доцільно в рідкому стані, але при цьому потрібна надійна теплоізоляція паливного бака, оскільки температура рідкого водню становить -253°C . Тому при транспортуванні та зберіганні водню слід використовувати криогенні резервуари з подвійними стінками і ізоляцією між ними.

Отже, широке використання водню як палива в близькому майбутньому важкодоступне не тільки через перелічені недоліки, а й через високу вартість його виробництва. Тільки за умови забезпечення енергетичної та економічної технології, коли витрати енергії на здобуття водню будуть компенсовані його енергетичним потенціалом і загальним економічним ефектом, це паливо займе чільне місце в загальному енергетичному балансі.

Вода як домішка до палива

З метою економії бензину та більш раціонального використання низькооктанових бензинів останнім часом активно ведуться роботи щодо використання води як домішки до палива.

Механізм дії води на робочий процес у ДВЗ вивчений неповністю, але вважається, що при доданні води збільшується ОЧ палива, завдяки чому зростає потужність і поліпшується економічність роботи машини. На думку фахівців, ця дія зумовлюється в основному трьома чинниками:

- охолодженням заряду робочої суміші;
- охолодженням деталей камери згоряння;
- дією водяної пари як інертного середовища, що регулює процес згоряння суміші.

Вода може подаватися безпосередньо впорскуванням у циліндри або впускну систему двигуна, а також у вигляді водобензинової емульсії

(ВБЕ). Використання ВБЕ пов'язано з рішенням низки практичних завдань:

- створення ВБЕ, що забезпечують потрібну стабільність;
- розробкою ефективних ПАР, які знижують поверхневий натяг води;
- створенням раціональної системи здобуття і використання ВБЕ в господарствах.

Практика показала, що через підвищену в'язкість ВБЕ в її склад можна вводити не більш, як 10 % води.

Незважаючи на перелічені недоліки, практика показує, що при роботі двигуна на ВБЕ з вмістом 10-30 % води питома вага палива знижується на 12...22 % при повних навантаженнях і на 7...10 % при середніх.

Найефективнішим способом подачі води є її безпосередньо впорскування у всмоктувальний колектор двигуна. Цей спосіб забезпечує подачу води у впускний колектор на режимах середніх і максимальних навантажень, тобто, коли вимоги до ОЧ палива підвищуються.

У дизелях можна також застосовувати обводнене паливо – водопаливну емульсію (ВПЕ), що характеризується вищою фізичною стабільністю і для її приготування потрібно значно менше ПАР, причому емульгатори не повинні спричиняти схильність до відкладання небажаних речовин та корозії. У цьому випадку питома витрата палива може бути знижена на 2...6 %.

Обводнене дизельне паливо характеризується зниженням цетанового числа і великим періодом затримки самозапалювання. Однак, наявність «мікрровибухів» капелів емульсії та вплив на згоряння хімічних чинників (присутності води) призводить до інтенсифікації тепловиділення і скорочення тривалості згоряння палива, що сприяє його витрати.

Біопаливо.

В останній час (10...15 років) налагоджується виробництво біопалива із насіння оливних культур: кукурудзи, соняшника, рапсу. Цю проблему забруднення навколишнього середовища Європа почала вирішувати ще у 70-ті роки. І тоді з'явилося поняття «біопаливо» (штучне дизельне паливо), яке зараз вибирають все більше європейських країн. В Австрії 40 % машин користуються цим паливом. Паливо рослинного походження у Європі отримує державну підтримку. Німеччина і Австрія, а ще раніше Франція ввели екологічний податок на звичайне дизельне паливо, воно дорожчим.

Сфера застосування нетрадиційних палив.

На думку фахівців нетрадиційні палива повинні на сьогодні використовуватися у такій послідовності:

- використання МТБЕ (зараз додається у товарні бензини);
- використання бензометанольної суміші із вмістом 3...5 % метанолу;
- застосування бензометанольної суміші із вмістом 15 % метанолу;
- роздільна подача метанолу і бензину;
- водень, як паливо для автомобілів, може знайти широке застосування вже в середині нинішнього століття. До цього його можна використовувати як домішку до палива;
- додавання води до бензину з утворенням ВВЕ, а також роздільна подача бензину і води не дають прямої економії бензину і потребує встановлення на двигуні додаткової системи живлення, або створення дорогих стабілізаторів.

Проблеми використання та впровадження нових видів палив

Все актуальнішою у зв'язку з вичерпаністю запасів мінеральних ресурсів: нафти і природного газу. Розвіданих запасів нафти і природного газу при сучасному рівні видобутку по песимістичним прогнозам вистачить на 120 років, по оптимістичним – на 250. В деяких випадках, наприклад в електро- і теплоенергетиці, можна повернутися до використання замість нафти і природного газу кам'яного вугілля, його запасів вистачить більш ніж на 1500 років. Зростання споживання у світі нафтових палив призвело до значного збільшення темпів витрачання непоновлюваних запасів нафти, а у результаті – до стрімкого зростання її ціни. Людство, по суті, мусить у короткі терміни вирішити проблему свого виживання: знайти можливості і напрямки переходу з палив, що отримуються з нафти, на нові альтернативні види палива. Пошук заміни нафтових палив на синтезовані з інших видів сировини, розробка прогресивної технології виробництва синтетичних палив і їх раціонального застосування на транспортних засобах є на даний час досить актуальними задачами. Особливо гостро проблема переходу на нові види палива проявляється в авіації, де прогнозується постійне збільшення інтенсивності перевезень. В даний час концентрація CO₂ в атмосфері складає приблизно 400 ppm. Це у два рази більше, ніж до початку промислової революції XVIII століття. До 2050 р. концентрація CO₂ в атмосфері може досягти 500 ppm. Парникові гази (пари води, діоксид вуглецю, метан) самі по собі необхідні для життя на Землі. Вони запобігають повному розсіюванню теплової енергії, що отримується Землею від Сонця, і підтримують на поверхні

нашої планети температуру, придатну для життя як простих, так і найскладніших організмів. Але якщо таких газів стане надто багато, то середня температура на Землі підвищиться, що може привести до танення полярних крижаних шапок з катастрофічними наслідками для всього живого. Із цих причин у ряді розвинених країн не припиняються роботи з удосконалення властивостей альтернативних палив, що відносяться до поновлювальних ресурсів, володіють меншою вартістю і кращою екологією. За прогнозами експертів, до 2050 р. авіаперевезення спричинять до 20 % шкідливих викидів у всьому світі. Тож, використання біопалива для літальних апаратів буде запобігати такому негативному розвитку.

Досягнення вчених світу з проблем розробки та впровадження у практику нових біосинтетичних матеріалів із технічних мастил тісно пов'язані із перманентним оновленням значної частини традиційної номенклатури базових матеріалів провідних галузей промислового виробництва на науковотехнічних засадах, добре дослідженого та інноваційно розвинутого галузевого матеріалознавства. Відомо, що традиційне матеріалознавство таких галузей, як нафтопереробка, хімічна промисловість полімерних і композиційних (зокрема антифрикційних) матеріалів тощо, досить швидко (за 8 - 12 років) досягають консервативності, тобто певної межі своїх експлуатаційних властивостей, і не задовольняють сучасним вимогам, отже – характеризуються низкою загальних негативних рис, зокрема – високим рівнем екологічної небезпеки мінеральних (нафтового походження) і особливо синтетичних або мінерально-синтетичних паливномастильних матеріалів як на стадії підготовки сировини та виробництва, так і на етапі їх використання. Сьогодні Директивами Євросоюзу розроблено нові жорсткі квоти на викиди шкідливих речовин від двигунів літальних апаратів, що спричинено значною ресурсо- і енерговитратністю, оскільки вони спираються, значною мірою, на сировину мінерального походження (нафту), яка все більше вичерпується з одночасним погіршенням її якості; також все більше зусиль і витрат виробників мінеральних і синтетичних або мінерально-синтетичних паливно-мастильних матеріалів необхідно для досягнення належного рівня функціональних властивостей та експлуатаційних їх показників, особливо для авіаційної техніки, а отже ці матеріали стають все дорожчими. На сьогодні у світі все більш актуальним постає питання щодо використання біопалива в авіації.

У США широко розгорнена програма виробництва біопалив під знаком зменшення залежності від імпорту енергоносіїв і шкідливого впливу на клімат, в основі має бажання агровиробників збувати

генномодифіковані сільськогосподарські продукти. Те, що біопаливо не може скласти конкуренцію паливу на основі вуглеводнів, розуміють всі, проте рух за біопаливо став стержнем в політиці ряду розвинених країн. Не дивлячись на значний прогрес у використанні біомаси для отримання рідких палив, правда полягає в тому, що промисловість наразі не знає як конвертувати біомасу в паливо у великих масштабах з прийнятними витратами для споживачів і без серйозних соціальних наслідків, пов'язаних з подорожчанням продовольства. Експерти вважають, що тільки біопалива другого покоління, засновані на непродовольчих видах сировини, складніших процесах перетворення, технічно можливі, економічно виправдані, доступні і життєздатні, можуть диверсифікувати енергетичний портфель світу [13]. Враховуючи цю обставину, в багатьох країнах світу розгорнуто дослідження і розробки в області технологій отримання біопалив другого покоління, а саме, з біомаси (целюлоза, відходи лісової і деревообробної промисловості, сільськогосподарські відходи, водорості, лігніні тому подібне). Серед технологій другого покоління називають пірогенетичну переробку деревини; анаеробні процеси; вельми перспективний процес BTL (biomasse to liquide), що складається із стадій спікання біомаси за допомогою низькоокисневого піролізу, газифікація отриманих методом спікання гранул каталітичного синтезу по Фішеру-Тропшу, а також отримання біоетанолу з біомаси деревини шляхом ферментації або гідролізу з подальшим дегідруванням біоетанолу в біобутанол та ін. Під час переходу авіатехніки на альтернативні види палива, можна вирішити дуже важливі питання в області енергетики, екології, а також фінансування.

Прискорена розробка альтернативних видів авіаційної техніки – це задача загальносвітова, що не терпить зволікання, оскільки, на думку міжнародних експертів, слід чекати подальшого зростання цін на вуглеводневі енергоносії. Розробка ефективної технології виробництва моторних палив з біосировини і, зокрема, реактивних палив, є об'єктивною необхідністю і актуальна в даний час. Роботи по біопаливу для авіації за кордоном ще не вийшли із стадії дослідницьких. У нашій країні такі роботи практично не починалися. Зростання питомої витрати палива приводить в процентному відношенні до більшого, ніж зростання питомої витрати, зменшенню дальності польоту літального апарату або зменшенню корисного навантаження. Вживання кисневмісних синтетичних палив в цивільній авіації може виявитися рентабельним лише тоді, коли ціна такого палива буде значно нижча за ціну нафтового авіагазу. Вуглеводневий біогаз може знайти вживання в авіації вже в найближчому майбутньому навіть в умовах збереження в

достатній кількості непоновлюваних енергетичних сировинних ресурсів: нафти, вугілля, природного газу і інших – з тієї причини, що їх споживання дозволить уповільнити зростання концентрації CO₂ в атмосфері. Отже, реальним виходом із ситуації, що склалася в економіці України, є використання новітніх енергозберігаючих технологій та перехід на рослинні олії, як альтернативну поновлювану екологічно чисту сировину для паливно-мастильних матеріалів, які відчутно впливатимуть на зменшення викидів в атмосферу CO₂ і оздоровлення атмосфери.

8.11 Нормативна база чинного законодавства України, щодо приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах.

Основні нормативні документи, що регламентують експлуатацію пально-мастильних матеріалів в Україні:

1. ГСТУ 320.00149943.007-97. Паливо для реактивних двигунів «РТ». [Чинний від 1997-06-15]. Держнафтогазпром України, 1997. 19 с. (Галузевий стандарт України).

2. ГСТУ 320.00149943.011-99. Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. [Чинний від 1999-07-01]. Держнафтогазпром України, 1999. 27 с. (Галузевий стандарт України).

3. ДСТУ 4796:2007. Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів ДЖЕТ А-1. [Чинний від 2007-10 -01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 8 с. (Національний стандарт України).

4. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України).

5. Інструкція з контролювання якості нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України: №271/121:2007..

6. Інструкція про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України: затверджена спільним наказом Мінпаливенерго України, Мінтрансв'язку України, Мінекономіки України, Держспоживстандарту України від 20 травня 2008 р. № 281/171/578/155.

7. Інструкція з забезпечення заправлення повітряних суден паливно-мастильними матеріалами і технічними рідинами в

підприємствах цивільного авіаційного транспорту України: затверджена наказ Державіаслужби від 14.06.2006 № 416.

Контрольні питання до розділу 8

1. Які є сучасні марки палива для газотурбінних двигунів та їх хімічний склад?
2. Які є основні експлуатаційні властивості палива для газотурбінних двигунів?
3. Які є сучасні палива для поршневих двигунів та їх хімічний склад, марки авіаційних бензинів?
4. Особливості процесу згорання в поршневому двигуні.
5. Детонаційна стійкість палива. Октанове число.
6. Особливості хімічного складу палива для дизельних двигунів. Прокачувальна здатність і сумішоутворюючі властивості дизельних палив.
7. Які особливості роботи карбюраторного двигуна?
8. Самозаймистість та цетанове число дизельного палива. Асортимент палив для дизельних двигунів.
9. Які характерні особливості альтернативних видів пального.

РОЗДІЛ 9

ЗБЕРІГАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ПАЛЬНО- МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

9.1 Засоби транспортування та приймання пально- мастильних матеріалів на склад

Види транспорту для перевезення нафти і нафтопродуктів

До основних видів транспорту для перевезення нафти та нафтопродуктів відносять такі: залізничний, водний, трубопровідний і автомобільний. В окремих випадках використовують авіаційний транспорт для термінової доставки нафтопродуктів у віддалені важкодоступні райони.

Вибір кожного з видів транспорту залежить від фізико-механічних та хімічних властивостей вантажу, обсягів перевезень, розвитку відповідних транспортних комунікацій, розташування нафтопромислів, заводів, баз і споживачів та визначається на основі техніко-економічного порівняння варіантів транспортних систем. При цьому враховується вартість обладнання, експлуатаційні витрати на його обслуговування, наявність діючої транспортної мережі тощо.

На світовому ринку нафти і нафтопродуктів найбільш розповсюдженим є трубопровідний транспорт, частка інших суттєво залежить від географічного розташування країни та стану економіки.

У разі перевезення нафти і нафтопродуктів на значні відстані застосовують комбінації з різних видів транспорту – трубопровідний і залізничний, автомобільний або водний. Таке транспортування називають змішаними перевезеннями.

Залізничний транспорт

У загальній структурі транспорту для перевезення нафти і нафтопродуктів залізничний транспорт посідає значне місце (до 40 % усіх перевезень). Зазвичай нафта і нафтопродукти перевозяться залізницею у вагонах-цистернах, лише близько 2 % їх доставляють у менших посудинах – бочках, контейнерах або бідонах.

Переваги залізничного транспорту:

- універсальність (перевезення всіх видів нафти і нафтопродуктів будь-яких об'ємів);
- рівномірність доставки вантажів протягом усього року з більш високою швидкістю, ніж водним транспортом;
- доставка нафтопродуктів у більшість пунктів споживання у зв'язку з наявністю розгалужених залізничних мереж у густонаселених промислових і сільськогосподарських районах. Відмінна ознака

залізничного транспорту – незалежність його від погодних умов, тому більшість розподільчих баз нафтопродуктів розташовано поблизу залізничних магістралей.

Недоліки використання залізничного транспорту:

- значні капітальні витрати при будівництві нових, ремонті та реконструкції існуючих ліній;
- відносно високі експлуатаційні витрати;
- відносно низька ефективність використання потужності рухомого складу (цистерни в зворотному напрямку йдуть порожніми);
- великі втрати нафти і нафтопродуктів при транспорті та розвантажувально-навантажувальних операціях;
- необхідність спеціальних зливно-наливних пунктів і пунктів зачистки вагонів-цистерн. Вагони-цистерни формують у потяги, що зветься наливними маршрутами, при цьому найбільш економічними є перевезення цілими маршрутами, що можливе у разі доставки значного обсягу нафтопродуктів.

Нафтопродукти всіх видів перевозяться залізницею відповідно до «Правил перевезення вантажів», затверджених «Укрзалізницею», якими передбачено порядок формування залізничних цистерн у потяги, умови перевезень нафтопродуктів, правила подачі сформованих потягів до зливно-наливних пристроїв і здачі заповнених цистерн до залізниці, норми часу на навантажувально-розвантажувальні операції та основні вимоги до технічної експлуатації.

Під час транспортування нафтопродуктів залізничним транспортом обов'язковим є виконання всіх вимог техніки безпеки, що діють як на залізничному транспорті, так і на підприємствах-вантажодержувачах (нафтобазах і наливних станціях).

Елементи системи залізничного транспорту

У межах системи залізничного транспорту виділяють такі основні елементи: залізничний шлях; рухомий склад; система енергопостачання (коли він електрифікований); система зв'язку, сигналізації, централізації та блокування (СЦБ); розподільні пункти (пости, роз'їзди і станції, навантажувально-розвантажувальні пункти); засоби механізації колійних робіт; локомотивні депо (для ремонту) та екіпірувальні пункти.

Рухомий склад залізничного транспорту включає локомотиви, піввагони, вагони-цистерни, з яких формуються потяги. Для перевезення нафтопродуктів застосовуються основні типи локомотивів (тепловози, електровози), які разом із різними типами вагонів являють собою, як відомо, найважливіший елемент залізничного транспорту – рухомий склад.

Під час залізничних перевезень транспортними ємностями слугують вантажні вагони різної конструкції. Перевезення наливних нафтопродуктів здійснюється залізничними вагонами-цистернами вантажопідйомністю від 23 до 120 тон (більше 95 % парку цистерни на 50 тон і більше). Виготовляються цистерни з листової сталі товщиною 8-11 мм у вигляді горизонтального циліндричного резервуара (рис.9.1)

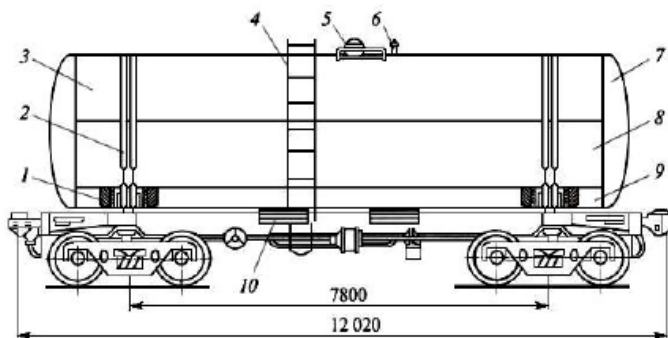


Рисунок 9.1 – Цистерна для світлих нафтопродуктів моделі 15-1443:

- 1 – дерев'яні бруски; 2 – хомути; 3 – верхня частина котла; 4 – драбина; 5 – люк; 6 – патрубок установки запобіжного (впускного) клапана; 7 – боковина котла; 8 – нижня частина котла; 9 – днище котла; 10 – зливні пристрої

Перевезення цистерн по залізниці здійснюється на спеціальних чотирьох- і восьмивісних платформах, обладнаних ходовою частиною, системою амортизації і гальмування, вузлами зчеплення платформ, кріпленнями цистерн до платформи 1. Крім того, цистерни обладнуються зовнішніми 4 і внутрішніми сходами та оглядовими майданчиками.

Для перевезення застигаючих нафтопродуктів цистерна обладнується зовнішнім кожухом товщиною 3 мм, який покриває 1/3 поверхні котла, що створює парову сорочку, яка, у свою чергу, складається з ряду відсіків, що мають товщину (відстань від стінок кожуха до сорочки) 30-40 мм.

Залежно від моделі цистерни в верхній частині котла може бути встановлена одна або дві горловини, обладнані кришкою і «дихальною» арматурою. За допомогою горловини здійснюється можливість проводити очисні роботи і зливо-наливні операції при несправності

нижніх зливних приладів або в разі, коли це передбачено технологією процесу.

Універсальний зливний прилад цистерн загального призначення служить для зливу вантажу з котла, а при необхідності – наливу знизу за допомогою насоса.

Високов'язкі нафтопродукти (бітуми) перевозять у бункерних напіввагонах вантажопідйомністю 40 т. Один бункер має ємність 12 м³ та обладнаний стулковою кришкою і паровою сорочкою. Для вивантаження бітуму досить після попереднього підігріву звільнити бункер від фіксаторів і за рахунок зміщення центру маси щодо точок опор навантажений бункер перекинеться. Після вивантаження бункер повертається в попереднє вертикальне положення за рахунок того, що центр ваги порожньої ємності знаходиться нижче точок опор.

Залізничні цистерни можна класифікувати за такими ознаками:

- за призначенням: для наливних вантажів, зріджених, в'язких, таких, що тужавіють;

- за наявністю теплових пристроїв: без додаткових пристроїв, з тіньовим захистом, з трубчастими змійовиками підігріву, з нагрівальним кожухом, з термоізоляцією, з термоізоляцією і нагрівальним кожухом, з термоізоляцією і трубчастими електронагрівачами, з термоізоляцією і трубчастими змійовиками підігріву, пристроєм аеропневмовивантаження;

- за конструкцією несучих елементів: рамні або безрамні;

- за способом завантаження: відкриті, закриті;

- за способом вивантаження: під тиском (передавлюванням, сифонуванням, аеропневматичним) – верхні й нижні; без тиску (самопливом);

- за станом вантажу при русі: цистерни під тиском, без тиску;

- за способом розігрівання вантажу в котлі: з паропідігрівом – зовнішнім (кожух, змійовики), внутрішнім (змійовики); з електропідігрівом (електронагрівачем);

- за підтримкою температурного режиму вантажу: з термоізоляцією, без термоізоляції;

- за осністю: чотири-, восьмивісні;

- за габаритами: ГОСТ 9238-83;

- за належністю: парк УЗ; парк промислового транспорту;

- за вантажопідйомністю: від 23 до 120 тонн.

Так, в експлуатації є чотиривісні цистерни об'ємом 60 м³ з універсальними зливними приладами, у яких можна перевозити будь-які рідкі нафтопродукти.

Водний транспорт

Водний транспорт поділяється на морський та річковий і здійснює перевезення нафтопродуктів як усередині країни, так і за її межами. У світовій торгівлі нафтою частка цього виду транспорту постійно зростає.

Водний транспорт, на відміну від залізничного, потребує меншої витрати енергії на перевезення одиниці маси вантажу, характеризується меншою чисельністю персоналу, меншими витратами металу на одиницю вантажопідйомності рухомого складу, незначною власною масою порівняно з масою вантажу.

До переваг морського транспорту слід віднести можливість транспортування з відносно низькою собівартістю значних обсягів нафтопродуктів за рахунок використання суден великої вантажопідйомності на далекі відстані. У той же час при такій доставці виникає реальна загроза забруднення навколишнього середовища у разі пошкодження судна, що є суттєвим недоліком.

Наливними судами або танкерами називають судна, призначені для транспортування рідких вантажів. До таких вантажів належать головним чином нафта і нафтопродукти, але танкери можуть перевозити також рідкі харчові продукти, хімічні органічні та неорганічні вантажі, зріджені гази

Наливання у ємності (танки) нафти та інших рідких вантажів проводиться потужними насосами, розташованими в насосних станціях портів. Для розвантаження на танкерах встановлюють насоси пропускною здатністю до кілька тисяч тонн на годину і прокладають системи трубопроводів, що мають клапани і блокування.

Під час рейсу через зниження зовнішньої температури в'язкість вантажу зростає, і щоб зменшити її, що дозволить здійснити перекачування, треба вантаж підігрівати. Для підігріву використовується водяна пара, що пропускається через трубопроводи, занурені в танки. Тому на танках встановлюють парові котли, іноді дуже великої потужності.

Особливою проблемою є необхідність максимального захисту морського навколишнього середовища при пошкодженні зовнішньої обшивки танка.

Інше дуже важливе питання експлуатації – безпека танків. У баластних рейсах танки піддаються особливій небезпеці, оскільки із залишків нафти в танках утворюються летючі гази. Тому танки повинні ретельно очищати і дегазувати.

Річковий транспорт має високу пропускну здатність та мобільність і за умови постійного розвитку інфраструктури портів та

спеціалізованого рухомого складу здатен скласти гідну конкуренцію іншим видам транспорту для перевезення нафти і нафтопродуктів.

Суттєвим недоліком річкового транспорту є його сезонність, тобто залежність періоду навігації від пори року. Це спричиняє необхідність створення міжнавігаційних запасів нафтопродуктів на перевалочних базах або у споживачів. Окрім того, часто розташування географічної мережі річок не збігається з основними напрямками вантажопотоків, що призводить до збільшення відстані транспортування і, як наслідок, до надмірної витрати пального та підвищення собівартості транспортування.

Оскільки перевезення нафти і нафтопродуктів здійснюється по морях, річках та каналах, нафтоналивні судна розділяються на морські (танкери), річкові, озерні та змішаного плавання.

Нафтоналивні судна незалежно від місця експлуатації поділяються на самохідні та несамохідні. Перші (танкери) мають свою силову установку, другі ж переміщуються за допомогою буксирів відповідної потужності.

Зазвичай типові морські танкери мають вантажопідйомність від 5 до 300 тис. тонн, озерно-річкові – від 0,5 до 5, а несамохідні баржі – від 10 до 12. Однак у світовому мореплаванні відомі танкери вантажопідйомністю 300 тис. тонн і більше.

Ліхтери або рейдові морські баржі використовують, коли через осадку танкери не в змозі причалити до берега і знаходяться на рейді.

Отже, транспортування нафти та нафтопродуктів водним транспортом має такі переваги:

- необмеженість пропускної здатності водних шляхів;
- відсутність необхідності створювати вартісні лінійні споруди.

Недоліки:

– такий вид транспорту не можна використовувати в зимовий період. Це призводить до необхідності створювати міжнавігаційні нафтові запаси, для яких потрібні великі резервуари;

– розбіжність географічного положення річної мережі з основними нафтовими вантажопотоками, в результаті чого збільшується відстань доставки;

– швидкість такого виду транспорту достатньо невелика порівняно з іншими видами перевезень.

До основних показників, що характеризують нафтоналивні судна, належать такі:

– осадка судна – глибина, на яку занурилося судно; її визначають за положенням ватерлінії, тобто лінії, утвореної поверхнею спокійної води з корпусом судна (ватерлінія поділяє судно на надводну та

підводну частини та називається легкою (порожньою) для незавантаженого плавучого засобу або вантажною для максимальної маси вантажу);

– водотоннажність – маса води, витіснена судном до вантажної ватерлінії;

– вантажопідйомність – максимальна маса вантажу, що транспортується (корисна);

– дедвейт – повна маса вантажу, включаючи вантажі для власних потреб (вода, паливо, продукти), яка може бути прийнята на борт без втрати плавучості, остійності та швидкості ходу.

Остійністю називають здатність судна не перекидатися та повертатися у нормальне положення під дією вітру, хвиль або нерівномірного завантаження.

Нахил судна у поперечному напрямку, тобто одного з його бортів називають креном, нахил же у поздовжньому напрямку, тобто носа або корми – диферентом.

Здатність судна триматися на воді при наявності пробоїн у корпусі, через які вода потрапляє у судно, прийнято називати непотоплюваністю, яка тим більша, чим більше на судні водонепроникних перегородок, що розділяють судно на окремі герметичні відсіки. За відсутності перегородок рідкий вантаж отримує можливість перетікати при крені або диференті у бік нахилу судна, що може призвести до його перекидання.

Для запобігання крену завантаження та розвантаження відсіків (танків) у портах виконують у черговій послідовності.

Танкери та баржі розрізняються як за вантажопідйомністю, так і за конструкцією.

За родом вантажу, що перевозиться, танкери поділяються на нафтовози, у тому числі нафтопродуктовози, хімовози, газовози. Іноді продуктовози виділяють в окремий клас, маючи на увазі перевезення цими судами і харчових продуктів.

За конструктивною схемою нафтоналивне судно являє собою жорсткий сталевий каркас з поперечними і поздовжніми зв'язками, до яких монтується обшивка, а внутрішня частина розподілена герметичними стінками на численні відсіки-танки, в які заливають нафтопродукт.

Для виконання операцій з викачування нафти, а також для внутрішніх перекачувань судно має насосне (машинне) відділення, обладнане вантажними насосами, пропускною здатністю до 2000 м³/год. Налив та злив нафтопродуктів здійснюється за системою трубопроводів, що поєднують машинне відділення з танками

Кожен вантажний танк має горловину, яка часто називається розширювачем. Горловина закривається водонепроникною кришкою, на якій є оглядове вікно. Від горловини до днища встановлений трап з проміжними майданчиками. Горловини бортових і центральних танків не повинні розташовуватися на одній прямій лінії, щоб не послабити міцність палуби.

Кожен танкер має один, два або три відстійних танка, сумарна місткість яких повинна бути не менше 2 % від загальної місткості вантажних танкерів. Є окремий невеликий танк для збору відмитих нафтових залишків.

Кожен нафтотанкер має як мінімум одне насосне відділення. Основне вантажне насосне відділення розташовується через перегородку з машинним відділенням. Між танками з різнорідними вантажами містяться коффердами – порожні приміщення, довжиною 1,0-1,2 м. Роль коффердама між кормовими вантажними танками і машинним відділенням виконує насосне відділення. Вантажні танки, насосне відділення і коффердами утворюють вантажну зону танкера.

У корпусі танкера розрізняють три основних частини – носову, середню та кормову. Середня частина у зв'язку з пожежною безпекою відокремлена від носової та кормової коффердами, заповненими водою. Ця ж частина судна за допомогою непроникних перегородок поділена на танки, де знаходиться нафтопродукт. Танки між собою сполучаються за допомогою спеціальних пристроїв – клінкет, встановлених у нижній їх частині. По днищу і верхній палубі прокладені вантажні й зачисні трубопроводи. Навантажувально-розвантажувальні операції здійснюють на спеціально обладнаних причалах і пірсах.

Автомобільний транспорт

Автотранспорт широко використовується при перевезеннях нафтопродуктів з розподільних нафтобаз безпосередньо споживачеві. Найбільш ефективно у районах, куди неможливо доставити нафтопродукти залізничним або водним шляхами сполучення.

Основне призначення автотранспорту – доставка готових нафтопродуктів з великих нафтобаз на більш дрібні й далі до споживача. Нафтопродукти доставляються автоцистернами і паливозаправниками. На частку автомобільного транспорту припадає близько 20 % перевезень нафтовантажів.

Автомобільна доставка авіаПММ застосовується, а іноді є конкурентоспроможною при невеликих обсягах використовуваних ПММ і при перевезеннях на невеликі відстані. Палива перевозяться в спеціальних автоцистернах (бензовози, паливозаправники, маслозаправники) тобто автомобілем, що має цистерну й необхідне

устаткування для проведення закачування, відкачування й підрахування кількості.

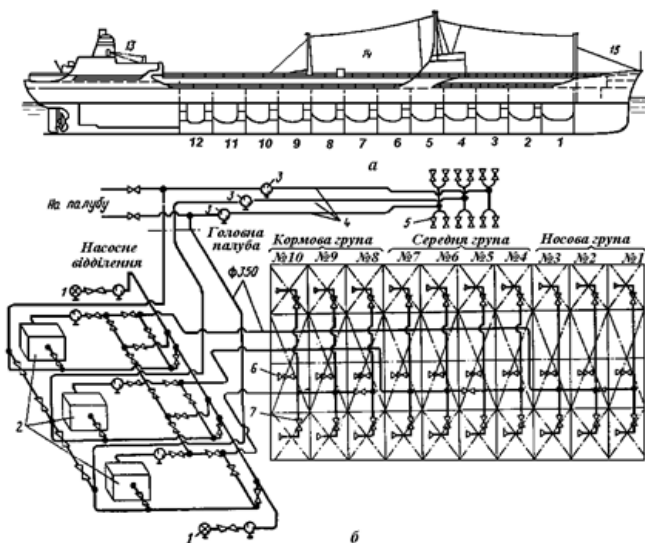


Рисунок 9.2 – Загальний вид (а) і схема трубопровідних комунікацій (б) танкера для перевезення нафтопродуктів: а) 1–12 – відсіки (танки); 13 – кормова частина; 14 – середня частина; 15 – носова частина; б) 1 – кінгстонний ящик; 2 – продуктивний насос; 3 – брудозаборні коробки; 4 – палубний трубопровід; 5 – прийомний патрубок середньої групи танків; 6 – приймач; 7 – клінкет

Основна особливість сучасних конструкцій автомобільних цистерн – застосування несучих резервуарів (безрамні резервуари). Резервуари стосовно базового шасі можуть розташовуватися горизонтально і похило. Горизонтальне розташування резервуара застосовують переважно в конструкціях автомобільних цистерн, призначених для транспортування палива, масла і спеціальних рідин. Похиле і горизонтальне розташування резервуарів використовують для перевезення зріджених газів. У поперечному перерізі горизонтальні і похилі резервуари мають круглу, прямокутну та еліптичну форми. Останні дві форми використовують з метою зниження точки центра ваги автомобільної цистерни і додання їй більшої стійкості при русі.

Форма перерізу резервуара, як правило, визначається вимогами експлуатації, механічною міцністю і стійкістю автомобільних цистерн

при русі. На рисунку 9.3 показані форми поперечного перерізу кузовів-цистерн, а на рисунку 9.4 наведені схеми установа цистерн на шасі автомобілів і причепа.

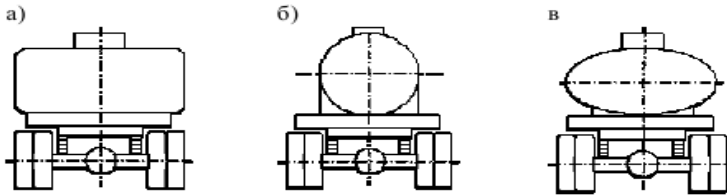


Рисунок 9.3 – Форми поперечного перерізу кузовів-цистерн:
а – прямокутна; б – кругла; в – еліптична

Автомобільні цистерни класифікують за наступними ознаками:

- за призначенням – для транспортування світлих рідких нафтопродуктів (бензинів, дизельного палива, гасу), темних нафтопродуктів (олій, мазуту, бітуму), зріджених вуглеводнів нафтових газів (ЗВНГ) і зріджених природних газів (ЗПГ);

- за розміщенням технологічного устаткування – на базовому шасі автомобілів звичайної і високої прохідності, причепах і напівпричепах з різними сидельними тягачами;

- за місткістю резервуара – на малу (до 5000 л), середню (від 5000 до 15 000 л) і велику (більш 15 000 л) місткість.

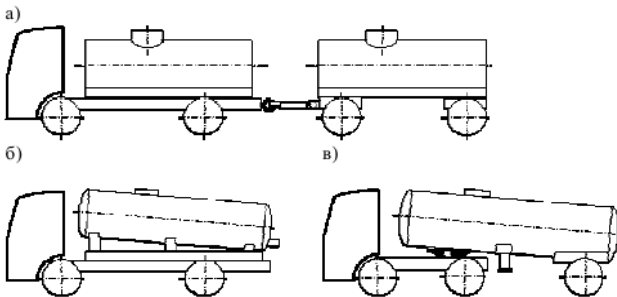


Рисунок 9.4 – Схеми установки цистерн на шасі автомобілів і причепа:
а – причіпний автопоїзд-цистерна з горизонтальною установкою цистерн на шасі автобіля-тягача і причепа; б – автомобіль цистерна з похилою установкою цистерни; в – напівпричіп-цистерна несучої конструкції з похилою установкою цистерни

Внутрішні поверхні резервуарів і технологічного устаткування повинні забезпечувати збереження кондиційних і експлуатаційних якостей і чистоту перевезених нафтопродуктів і зріджених газів.

Автомобільна цистерна (рис. 9.5) для рідких нафтопродуктів складається з базового шасі, резервуара з устаткуванням та гідравлічної системи.

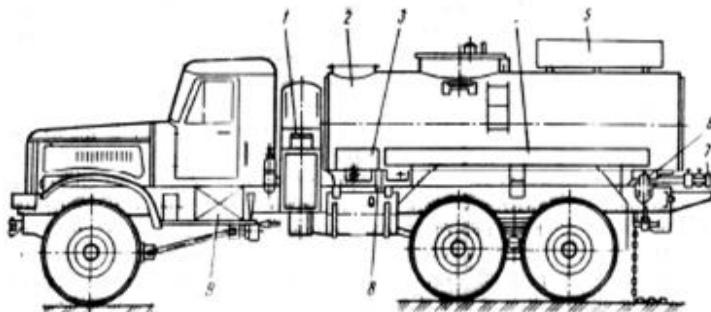


Рисунок 9.5 – Загальний вид автомобільної цистерни:

- 1 – запасне колесо; 2 – цистерна; 3 – інструментальний ящик; 4 – пенал з напорно-втягуючим рукавом; 5 – ящик з комплектів рукавів; 6 – вузол комунікацій; 7 – приймальний патрубок

Технологічне устаткування автомобільної цистерни дозволяє робити наступні види робіт :

- заповнення палим резервуара за допомогою стороннього насоса;
- заповнення палим резервуара за допомогою свого насоса;
- злив пального з резервуара стороннім і своїм наносами;
- злив пального з резервуара самопливом;
- перекачування пального з одного резервуара в інший, минаючи власний, тобто злив з автомобільних причепів-цистерн;
- заправлення машин фільтрованим палим з виміром кількості виданого пального;
- перемішування пального в резервуарі.

Злив і налив нафтопродуктів у залізничні цистерни на нафтобазах здійснюється на спеціально облаштованих зливно-наливних естакадах. На нафтобазу цистерни з нафтопродуктами, а також вагони з тарними та допоміжними вантажами подаються локомотивами по під'їзних коліях з найближчої станції магістральної залізниці. Залежно від виконуваних операцій усі під'їзні колії поділяються на основні, що

забезпечують рух, злив та налив нафтопродуктів; допоміжні – для навантаження і розвантаження тарних та допоміжних вантажів; обгінні – для здійснення маневрових операцій. На основних коліях розташовують зливно-наливні пристрої і цей комплекс утворює зливно-наливний фронт.

Трубопровідний транспорт

Єдиний вид транспорту нафти, для якого характерні низькі операційні витрати – трубопровідний. Трубопроводи, призначення яких – доставка нафти, продуктів її переробки та природного газу від місць їх видобутку, зберігання або виготовлення до нафтобаз, наливних пунктів

Крім того, трубопроводи за критерієм перекачування поділяють на нафтопроводи, газопроводи та нафтопродуктопроводи. Якщо конкретна магістраль призначена для перекачування одного виду продукту (газового або нафтового), то їх так і називають мазутопроводи, гасопроводи, бензинопроводи і так далі.

Магістральний трубопровід характеризується наступними основними параметрами:

- довжиною;
- діаметром;
- пропускною здатністю;
- наявністю перекачувальних станцій.

Сучасні магістралі, призначені для транспортування енергоносіїв, можуть мати довжину в кілька десятків тисяч кілометрів. Вони входять до складу транспортних комплексів, обладнаних цілою низкою перекачувальних насосних станцій (головних і проміжних), а також системою станцій наливу.

За своїми діаметрами такі трубопроводи поділяються на наступні класи:

- I клас - діаметр від 1000 до 1620 міліметрів;
- II клас - від 500 до 1000 мм;
- III клас - від 300 до 500 мм;
- IV клас - менше 300 мм.

За своїм призначенням трубопроводи поділяються на такі групи:

- внутрішні, які з'єднують різні установки на промислах (внутрішньопромислові), нафтогазопереробних заводах і газонафтосховищах, режим їх роботи визначається регламентом роботи промислу або заводу;

- місцеві, що в порівнянні з внутрішніми трубопроводами мають велику протяжність і з'єднують нафтогазопромисли (міжпромислові)

або нафтогазопереробні заводи з головною станцією магістрального трубопроводу, працюють за регламентом поставок нафтогазопродуктів;

– магістральні – характеризуються великою протяжністю, високою пропускною здатністю і з'єднують постачальника нафтогазопродуктів зі споживачем; у зв'язку з великою довжиною перекачування ведеться не однією, а декількома станціями, розташованими вздовж траси; режим роботи трубопроводів - безперервний (короточасні зупинки носять випадковий характер або пов'язані з ремонтно-відновлювальними роботами);

– технологічні – характеризуються малою протяжністю і служать для забезпечення працездатності в заданих режимах технологічних установок перекачувальних станцій магістральних трубопроводів, газонафтоосховищ і нафтобаз; режим роботи визначається технологічним регламентом обладнання, класифікуються за родом речовини, що транспортується, матеріалом труб, робочими параметрами, ступенем агресивності середовища, місцем розташування, категоріями і групами.

У цьому випадку трубопроводи поділяють:

– за родом речовини, що транспортується, на нафто-, газо-, паро, водо-, конденсато-, мастило-, бензо-, кислото-, аміакопроводи та інші;

– за матеріалом на металеві, неметалеві й футеровані.

До металевих відносять сталеві (виготовлені з вуглецевої, легованої і високолегованої сталі), мідні, латунні, титанові, свинцеві, алюмінієві, чавунні, біметалеві. До неметалевих – поліетиленові, вінілпластові, фторопластові та скляні. До футерованих – трубопроводи з поверхнями, покритими гумою, поліетиленом, фторопластом або емальовані.

За умовним тиском речовини, що транспортується, поділяють на вакуумні (нижче 0,1 МПа), високого тиску (понад 10 МПа), низького тиску (до 10 МПа) і безнапірні, що працюють без надлишкового тиску.

За температурою речовини поділяють на холодні (температура нижче 0°C), нормальні (від 1° до 45°C) та гарячі (від 46°C і вище).

За ступенем впливу на організм людини шкідливих речовин – на чотири класи небезпечності: 1- надзвичайно небезпечні, 2 - високо небезпечні, 3 - помірно небезпечні, 4 - малонебезпечні.

За величиною напору:

- високонапірні - вище 2,5 МПа;
- середньонапірні - 1,6 – 2,5 МПа;
- низьконапірні - до 1,6 МПа;
- безнапірні (самопливні).

Самопливним називається трубопровід, переміщення рідини в якому відбувається тільки за рахунок сил тяжіння. Якщо при цьому нафта і газ рухаються окремо, то такий нафтопровід називають вільносамопливним, а при відсутності газової фази – напірносамопливним.

За типом укладання: підземні, наземні, надземні, підвісні, підводні.

Підземна прокладка трубопроводів може здійснюватися прямо в ґрунт або в попередньо викопані канали, виготовлені з матеріалів, які не горять.

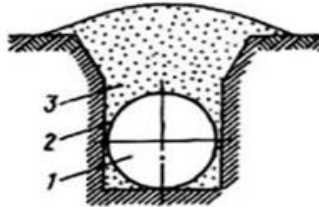


Рисунок 9.6 – Схема підземного прокладання нафтопроводів:
1 – трубопровід; 2 – профіль траншеї; 3 – ґрунт зворотньої засипки

При прокладці трубопроводів над землею висота розташування труб над пішохідними переходами повинна становити не менше 2,2 м, а над автотранспортними шляхами – не менше 4,5 м.

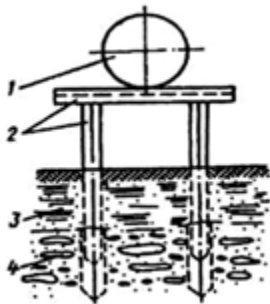


Рисунок 9.7 – Схема надземної прокладки газонафтопроводів:
1 – трубопровід; 2 – опори; 3 – діючий шар; 4 – багатолітньомерзлий ґрунт

Прокладку з частковим заглибленням застосовують при будівництві магістральних газопроводів в умовах боліт, скельних

грунтів з покривним шаром мінерального ґрунту малої потужності, у заболоченій і обводненій місцевостях.

При будівництві морських трубопроводів застосовують різні способи їх прокладки, які залежать від ряду факторів, що визначають організацію будівельного процесу (наявність технічних засобів, конструкція і призначення трубопроводу, гідрометеорологічні та геологічні умови району будівництва, топографія морського дна, період проведення робіт, умови судноплавства).

За гідравлічною схемою: прості, тобто не мають відгалужень; складні – мають відгалуження або змінну відносно довжини витрату, або вставку іншого діаметра, або паралельну ділянку; кільцеві.

За характером заповнення перерізу: з повним заповненням перерізу труби рідиною; з неповним заповненням перерізу.

Сучасні нафтопроводи, протяжність яких сягає 1000 км і більше, являють собою самостійні транспортні підприємства, обладнані комплексом головних, проміжних перекачувальних (насосних) станцій значної потужності, а також наливними станціями з усіма виробничими та допоміжними спорудами.

Всі нафто- і нафтопродуктопроводи мають однакову конструкцію – це сам трубопровід і ряд насосних станцій. Відмінності є тільки в окремих елементах технологічних схем.

До основних споруд магістрального трубопроводу відносяться:

- головна станція перекачки, розташована в районі нафтовидобутку (служить для першого надходження продукту в трубу);
- проміжні станції перекачки, які рухають продукт по трубах;
- нафтобаза, де зберігається нафта перед поставкою споживачеві;
- сам трубопровід з усіма своїми відгалуженнями;
- лінійні трубопровідні споруди (аварійно-ремонтні пункти, станції та обладнання для лінійної, пристрої корозійного захисту, трасові лінії електропередач і так далі).

Існує дві системи перекачування по нафтопроводам – постанційна та транзитна. Транзитний спосіб є основним. Транзитне перекачування буває: через резервуар; з підключеним резервуаром; безпосередньо – з насоса в насос.

В якості обладнання для перекачування найефективнішими є насоси відцентрового типу, оскільки їх легко синхронізувати і регулювати за допомогою автоматики. Крім цього, в порівнянні з поршневиими типами, такі насоси не підвищують тиск до небезпечних значень навіть в разі повного закриття засувки.

Трубопровідний транспорт нафти та нафтопродуктів має такі переваги:

- невисока вартість перекачування;
- незначні втрати нафтопродуктів в процесі транспортування;
- є можливість прокласти трубопроводи практично в будь-якій місцевості, на будь-які відстані та в будь-якому напрямку;
- простота обслуговування;
- такий вид транспортування легко піддається автоматизації;
- безперебійні постачання, які не залежать від кліматичних умов, пори року.

Недоліками такого виду транспорту є:

- значні капіталовкладення на етапі будівництва магістралі та супутньої інфраструктури;
- деякі обмеження на кількість видів енергоресурсів, що перекачуються.

Зливо-наливні естакади

Операції із завантаження та розвантаження нафтопродуктів у цистерни відбуваються за допомогою спеціальних зливо-наливних естакад (рисунок 9.8), куди вагони потрапляють по прокладених на нафтобазу під'їзних шляхах з найближчої станції.



Рисунок 9.8 – Двостороння залізнична естакада

Приймати і відпускати нафтопродукти нафтобази повинні тільки через спеціальні зливо-наливні пристрої:

- в залізничні цистерни – на спеціальних естакадах, через окремі стояки або зливні установки;
- в морські і річкові судна – через причальні споруди або безпричальним способом;
- в автомобільні цистерни – на станціях наливу, автоестакадах, через окремі стояки;

– в бочки, бідони та іншу тару – через розливні і розфасувальні пристрої;

– по відводах від магістральних нафтопродуктопроводів.

Злив і налив легкозаймистих і горючих нафтопродуктів, що відносяться до шкідливих речовин 1 і 2 класу небезпеки, повинен бути герметизований.

При неприпустимості змішання нафтопродукту, що зливається або наливається, з іншими нафтопродуктами, операції по зливу або наливу слід проводити на окремих зливо-наливних пристроях.

Операції з етильованими бензинами виконуються за умови обов'язкового виділення для цих цілей окремих трубопроводів, колекторів і зливо-наливних пристроїв.

При експлуатації нафтобазового господарства використовуються, в основному, такі способи зливу й наливу нафтопродуктів:

– зливання нафтопродуктів з залізничних цистерн через горловину цистерн (верхнє зливання цистерни);

– зливання нафтопродуктів через нижні зливні пристрої (нижнє зливання);

– наливання нафтопродуктів в залізничні цистерни через горловини (верхнє наливання);

– зливання нафтопродуктів з залізничних цистерн через нижні зливні пристрої в жолоб або ємність, розташовані безпосередньо під рейками або уздовж них (міжрейкове зливання цистерн).

Засоби нижнього та верхнього зливу з цистерн

Верхнє зливання застосовується в тих випадках, коли цистерни не обладнані приладами нижнього зливу, або якщо прилади знаходяться в несправному стані і їх не можна відкривати при наявності нафтопродуктів в цистерні. У зв'язку з цим на всіх діючих і знову споруджуваних залізничних зливо-наливної установках повинні бути передбачені пристрої для забезпечення як нижнього, так і верхнього зливу, з урахуванням того, що в парку діючих залізничних цистерн все ще перебуває значна частина цистерн, не обладнаних нижніми зливними приладами, що відповідають сучасним вимогам.

Спосіб верхнього зливу цистерн в порівнянні зі способами нижнього зливу має більш складні умови роботи, пов'язані з витратою значного часу на злив (особливо при організації робіт по зачистці залишків нафтопродуктів з цистерн). У літній період при високих температурах виникають труднощі при зливі бензинів з високим тиском насичених парів. Швидко зношуються прогумовані напірні рукава, потрібна велика чисельність обслуговуючого персоналу.

Верхнє зливання нафтопродуктів має цілу низку недоліків в порівнянні з нижнім:

- часто мають місце значні втрати від випаровування;
- часті зриви насосів при зливі продуктів з високим значенням тиску насичених парів;
- застосування вакуумних насосів для заповнення всмоктувальних комунікацій.

Верхнє наливання застосовується в наш час і використовується значно частіше внаслідок більшої простоти, хоча також має недоліки (підвищене випаровування, пожежна небезпека і т.д.)

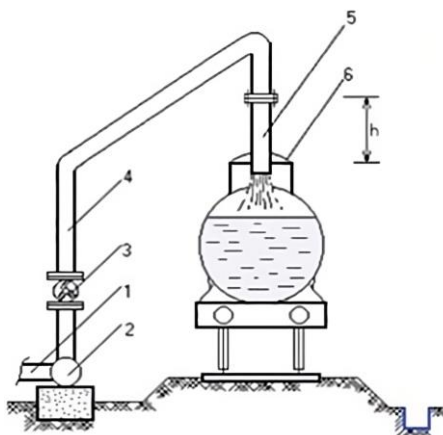


Рисунок 9.9 – Верхнє відкрите наливання цистерни

- 1 – приймальна труба; 2 – наливний колектор; 3 – засувка;
4 – наливний стояк; 5 – рукав; 6 – горловина

На рисунку 9.9 зображене верхнє відкрите наливання нафтопродуктів. Тут кінець наливного стояка 4 знаходиться над горловиною цистерни на висоті h з таким розрахунком, щоб мати можливість кінець обертального стояка підводити до горловини. Відкрите наливання по такій схемі можливе, коли кінець стояка має жолоб з бензовогнестойкого матеріалу і може бути рекомендований для наливу таких нафтопродуктів, як мазут, масло і т.д.

Схема нижнього зливу через зливний пристрій цистерни приведена на рисунку 9.10 Злив відбувається самоплином за допомогою пересувного лотка легкої конструкції. Верхній кінець лотка 2 підводиться під зливний прилад 1 (типу СПГ) цистерни, а нижній кінець – в бічний колектор 4 і далі в нульовий резервуар 6, обсяг якого повинен

становити 50-100% сумарного обсягу прийнятих на естакаді цистерн. При необхідності підігріву нафтопродукту можуть бути використані пересувні лотки 2 з паровою сорочкою 3 або електричпідігрівом. Для зменшення часу зливу нафтопродукту в цистерні може бути створено підвищений надлишковий тиск за допомогою компресорної станції (КС).

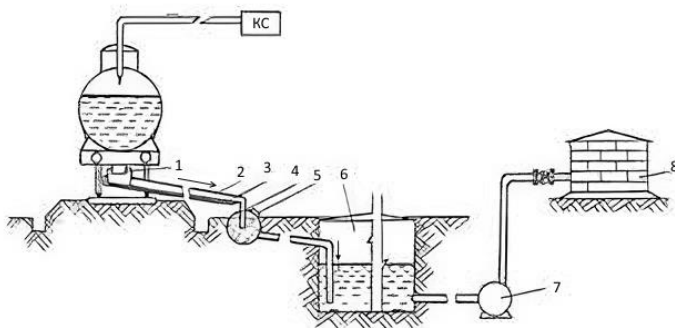


Рисунок 9.10 – Схема зливу темних нафтопродуктів

- 1 – зливний прилад; 2 – переносний зливний лоток; 3 – парова сорочка;
4 – колектор з паровим супутником; 5 – кришка; 6 – нульовий резервуар; 7 – насос; 8 – резервуар

Зливання масел, внаслідок виняткової цінності їх властивостей вимагає виконання особливих вимог і може проводитися відкритим і закритим способами. В обох випадках масла зливають в нульові резервуари. Залежно від розташування резервуарів і їх спеціалізації за окремими сортами масел залізничні цистерни для зливу встановлюють проти відповідного горизонтального резервуара.

Не дозволяється злив вантажу через нижній зливний пристрій при закритій кришці верхнього люка через можливість виникнення недопустимого вакууму в котлі цистерни.

Тривалість проведення технологічних операцій по наливу і зливу нафти і нафтопродуктів в залізничні транспортні засоби на нафтобазах за часом встановлюється затвердженими нормами. Ці норми часу вказуються в договорах, які щорічно укладаються нафтобазами з регіональними відділеннями Державної адміністрації залізничного транспорту. Норми зливу-наливу вагонів цистерн залежать від вантажопідйомності вагонів-цистерн і технічної оснащеності нафтобаз. У випадках, якщо в узгоджені в договорах норми нафтобази не

вкладаються, то вони відшкодовують збитки у вигляді штрафних санкцій в залежності від часу простою транспортних засобів.

Норми наливу цистерн:

– в пунктах немеханізованого наливу (незалежно від роду продуктів) налив одночасно поданої партії вагонів-цистерн і бункерних напіввагонів по всьому фронту для двовісних цистерн і бункерних напіввагонів – 2 години; чотиривісних (і більше) цистерн і бункерних напіввагонів – 3 години;

– в пунктах механізованого наливу (незалежно від роду продуктів і вантажопідйомності цистерн і бункерних напіввагонів) - 2 години.

Норми зливу цистерн:

– в пунктах немеханізованого зливу (незалежно від кількості поданих на фронт зливу вагонів) для двовісних цистерн – 2 години, чотиривісних (і більше) цистерн – 4 години;

– в пунктах механізованого зливу для двовісних цистерн і бункерних напіввагонів – 1 год 15 хв, для чотиривісних (і більше) цистерн і бункерних напіввагонів – 2 години.

При надходженні під слив високов'язких нафтопродуктів нафтобазам надається додатковий час на розігрів цих продуктів.

Для зливу з цистерн з паропідігрівальними сорочками встановлені наступні терміни: для нафтопродуктів I і II груп – 3 години; III і IV груп – 4 години.

9.2 Контроль якості та лабораторії пально-мастильних матеріалів підприємств цивільної авіації

Якість пально-мастильних матеріалів (ПММ) має великий вплив на надійність роботи машин та механізмів. Якість є мірою відповідності властивостей ПММ технічним характеристикам транспортного засобу та умовам його експлуатації.

Під час транспортування, зберігання та виконання різних технологічних операцій з ПММ можлива зміна їх якості внаслідок перебігу фізичних (випаровування, забруднення механічними домішками та водою, розшарування) та хімічних процесів (окиснення, корозія та ін.). Наприклад, у бензинів можуть змінитися такі показники, як густина, температура спалаху, в'язкість, фракційний склад, масова частка фактичних смол та механічних домішок, кислотність та ін. У зв'язку з цим на об'єктах нафтопродуктозабезпечення здійснюється чіткий поетапний контроль їх якості.

Відповідно до міжнародного стандарту ISO 8402 якість – це сукупність властивостей і характеристик продукції, що дають їй можливість задовольняти обумовлені чи передбачувані потреби.

Контроль якості ПММ – це процес встановлення відповідності між фактичними показниками якості та нормативними документами. Достовірність результатів контролю якості ПММ залежить від різних факторів. Однак у всіх випадках необхідно дотримуватись основних вимог:

- пробу ПММ для аналізу потрібно відбирати відповідно до вимог чинних стандартів, правил та інструкцій;
- перед виконанням аналізу продукт має бути підготовлений відповідно до вимог методу аналізу, що застосовується;
- показники якості продукту необхідно визначати лише за допомогою методів, що рекомендовані відповідним стандартом чи іншим нормативним документом.

Для забезпечення якості товару підприємство має розроблену систему контролю якості продукції, систему контролю всіх етапів руху товару, починаючи з виробництва і закінчуючи постачанням споживачу. Контроль якості нафтопродуктів займає особливе місце в управлінні якістю продукції.

Ефективна система контролю якості дозволяє своєчасно і цілеспрямовано впливати на рівень якості нафтопродуктів, що випускаються, попереджати недоліки характеристик та властивостей, забезпечувати їх оперативне виявлення і ліквідацію з найменшими витратами ресурсів.

Властивість продукції – це об'єктивна особливість, що виявляється під час її створення, експлуатації чи використання (споживання). Термін «експлуатація» застосовують до такої продукції, яка у процесі використання витрачає свій ресурс, а термін «споживання» – до такої, яка під час її використання витрачається сама.

Ознакою продукції є якісна або кількісна характеристика будьяких її властивостей або станів.

Якісна ознака – колір матеріалу, форма виробу, наявність на поверхні деталі антикорозійного або декоративного покриття, спосіб скріплення деталей виробу (зварювання, клепа́ння), спосіб або настроювання (регулювання) технічних пристроїв (ручний дистанційний, напівавтоматичний). Якісні ознаки можуть мати альтернативний характер і два взаємовиключні варіанти, наприклад наявність або відсутність захисного покриття на деталях, або наявність чи відсутність дефектів.

Кількісна ознака є параметром продукції і може бути одним з показників її якості.

Показник якості продукції – кількісна характеристика однієї або декількох властивостей продукції, що складають її якість, розглянута стосовно певних умов її створення, експлуатації і використання (споживання). Багато показників якості продукції є функціями її параметрів.

Формування і підтримання якості продукції відбуваються на всіх стадіях її життєвого циклу, що включає:

- розробка, виготовлення та дослідження дослідного зразка;
- вироблення товарного продукту;
- транспортування і зберігання;
- розподіл товарного продукту споживачу;
- безпосереднє використання у техніці.

Для забезпечення якості палива, масла, мастила або технічної рідини необхідно організувати їх контроль якості на всіх етапах життєвого циклу.

Технологія оцінювання відповідності палива, масла, мастила або технічної рідини встановленим вимогам на сучасному етапі виконується послідовно і поетапно здійснюється контроль якості:

- розроблених дослідних зразків продукції (система допуску до виробництва і використання);
- товарної продукції під час виробництва (безпосередньо на підприємстві);
- товарних палив, олив, мастил або технічних рідин на усіх етапах технологічного ланцюга від виробника (постачальника) до споживача (сертифікація товарного продукту, сертифікація підприємств нафтопродуктозабезпечення, систем менеджменту якості та система контролю якості);
- товарних палив, олив, мастил або технічних рідин під час зберігання на складах споживачів (система контролю якості).

Система випробувань палив, олив, мастил або технічних рідин являє собою сукупність засобів випробувань, виконавців і певних об'єктів випробувань, що взаємодіють за правилами, встановленими відповідною нормативною документацією.

Випробування – це експериментальне визначення кількісних і (або) якісних характеристик властивостей об'єкта випробування як результат впливу на нього під час його функціонування, моделювання об'єкта і впливу на нього (ДСТУ 3021).

Технічний контроль – перевірка відповідності об'єкта встановленим технічним вимогам.

Контроль якості продукції – контроль кількісних і (або) якісних характеристик (параметрів) продукції.

Поняття «випробування» має більш широке значення, оскільки містить у собі поняття контролю і оцінювання.

У свою чергу, оцінювання якості продукції – це визначення значень характеристик (параметрів) продукції із зазначенням точності та (або) достовірності.

Нормативна база системи контролю якості паливно-мастильних матеріалів

Світовий досвід комплексного оцінювання якості узагальнений у міжнародних стандартах ISO серії 9000:

– ISO 9001 «Система якості. Модель для забезпечення якості під час проектування і (чи) розроблення, виробництва, монтажу й обслуговування»;

– ISO 9002 «Система якості. Модель для забезпечення якості під час виробництва і монтажу»;

– ISO 9003 «Система якості. Модель для забезпечення якості під час остаточного контролю і випробування».

Задачі лабораторії з контролю якості авіаційних пально-мастильних матеріалів

Лабораторний контроль якості авіаційних пально-мастильних матеріалів (ПММ) полягає в кількісному (або якісному) визначенні значень деяких показників якості і порівняння їх з заданими стандартами (ТУ). Контролюються при цьому основні, найбільш важливі показники якості, а також показники, які найбільш піддаються змінам в процесі транспортування і використання.

На всіх етапах здійснюється чіткий контроль якості, через випробування нафтопродуктів на відповідність вимогам установленим стандартами або іншими нормативно-технічними документами.

Випробування нафтопродуктів залежно від призначення, поділяються на такі: приймально-здавальні, контрольні, повні (в обсязі вимог нормативного документа), арбітражні, інші (експрес-випробування, сертифікаційні).

Для пластичних змазок і робочих рідин приймально-здавальний і оперативний контроль не проводять.

Контроль якості авіаційних паливно-мастильних матеріалів та технічних рідин під час надходження на склад

Авіаційні паливно-мастильні матеріали та технічні рідини надходять до підприємств спеціалізованим залізничним, водним, автомобільним транспортом, трубопроводами або в спеціальній тарі іншими транспортними засобами. Під час надходження на склад

підприємства авіаПММ до зливання в резервуари або приймання для зберігання здійснюється вхідний контроль якості.

Вхідний контроль якості авіаПММ і технічних рідин (ТР) здійснюється відповідальною особою ПЗК (паливо-заправного комплексу) (служби ПММ) за затвердженими стандартом показниками якості з метою встановлення відповідності марки продукту, що надійшов на склад ПММ, марці, зазначеній у відвантажувальних документах та відповідності його якості вимогам нормативної документації (НД) за цими показниками.

Відповідальна особа ПЗК (служби ПММ) зобов'язана:

- перевірити справність транспортних засобів, наявність і цілісність пломб, чистоту нижніх зливних приладів;
- звірити номери залізничних цистерн (вагонів) з номерами, зазначеними в транспортних накладних і актах технічного стану;
- перевірити правильність та повноту заповнення постачальником паспортів якості і сертифікатів відповідності на авіаПММ і ТР і накладних;
- зіставити фактичні дані паспортів якості авіаПММ та ТР, що надійшли, з вимогами НД;
- перевірити відповідність маркування на тарі відвантажувальним документам та справність тари;
- визначити наявність підтоварної води та її рівень;
- у разі перевезення авіаПММ і ТР водним транспортом одержувач продукту зобов'язаний вимагати капітанську пробу.

Вхідний контроль якості палив для реактивних двигунів, авіаційних бензинів, авіаційних олів та мастил, протиліодотвірних рідин проводять на зливо-наливному пункті або в місцях приймання продуктів у тарі на складі ПММ підприємства, а противодокристалізаційних присадок (ПВК присадок) і дистильованої води – у лабораторії авіаПММ.

Відповідальна особа ПЗК (служби ПММ) відбирає об'єднану пробу. Відібрана об'єднана проба потім зберігається на складі ПММ до проведення повного контролю якості, і складає акт на відбір проб. Вхідний контроль якості авіаПММ та ТР проводиться за показниками, наведеними у табл.9.1

Таблиця 9.1 – Перелік показників якості, які перевіряються під час вхідного контролю якості авіаційних паливно-мастильних матеріалів та технічних рідин

Назва авіаційних паливно-мастильних матеріалів та технічних рідин	Показник якості
Палива для реактивних двигунів	Густина за температури 20°C Вміст механічних домішок та води
Авіаційні бензини	Густина за температури 20°C Колір та прозорість Вміст механічних домішок та води
Авіаційні олива і олівосуміші	Густина за температури 20 °C Вміст механічних домішок та води
Протидокристалізаційні присадки *	Густина за температури 20°C Зовнішній вигляд Вміст механічних домішок Вміст води Показник заломлення Вміст розчинних забруднень
Протильодотвірні рідини	Густина за температури 20°C Зовнішній вигляд Вміст механічних домішок
Вода дистильована	Вміст солей Концентрація водневих іонів (рН)
Технічні рідини для авіаційних гідросистем	Контроль якості не проводиться
Пластичні мастила	Контроль якості не проводиться

У разі позитивного висновку вхідного контролю якості і при наявності паспорта якості постачальника, який підтверджує кондиційність отриманого продукту за всіма показниками НД, дозволяється проводити зливання авіаПММ та ТР із транспортних засобів у резервуари складу ПММ, про що робиться відповідна відмітка в журналі реєстрації надходження авіаПММ та ТР.

На паспортах постачальника (відправника) робиться відмітка про номери цистерн, що надійшли, дату зливання продукту, вказується, у які резервуари злиті авіаПММ та ТР, прізвище особи, під керівництвом якої здійснюється зливання. Паспорт якості постачальника зберігається на підприємстві ЦА не менше 1 року після витрачання даної партії авіаПММ.

У разі негативного висновку вхідного контролю якості проводиться відбір проб авіаПММ та ТР із транспортних засобів відповідно до ГОСТ 2517 та донної проби з оформленням акту комісії на відбір проб для повного та арбітражного контролю якості. Проби авіаПММ, взяті з різних рівнів, зберігаються на авіапідприємстві до з'ясування причини некондиційності продукту.

Після перекачування проводять повний контроль якості продукту, злитого в резервуари складу ПММ авіапідприємства.

Під час зберігання авіаПММ та ТР на складі ПММ підприємства проводиться повний, оперативний та арбітражний контроль якості продукту.

Повний контроль якості

Повний контроль якості авіаПММ та ТР проводиться з метою встановлення відповідності їхньої якості вимогам нормативної документації (НД) за показниками, наведеними у таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 – Перелік показників якості, які перевіряються при зберіганні авіаційних паливно-мастильних матеріалів та технічних рідин

Назва авіаційних паливно-мастильних матеріалів та технічних рідин	Показник, який визначають під час контролю якості	
	повного	оперативного
Палива для реактивних двигунів	Густина за температури 20 °С Фракційний склад Вміст водорозчинних кислот і лугів Вміст механічних домішок та води Температура спалаху в закритому тиглі В'язкість за температури 20 °С Кислотність Температура початку кристалізації * Вміст фактичних смол	Густина за температури 20 °С Фракційний склад Вміст водорозчинних кислот та лугів Вміст механічних домішок та води Температура спалаху в закритому тиглі
Авіаційні бензини	Густина за температури 20 °С Колір та прозорість Фракційний склад Вміст водорозчинних кислот та лугів Вміст механічних домішок та води Вміст фактичних смол Вміст ТЕС Октанове число **	Густина за температури 20 °С Колір та прозорість Фракційний склад Вміст водорозчинних кислот та лугів Вміст механічних домішок та води Вміст фактичних смол
Авіаційні оливи та оливосуміші	Густина за температури 20°С В'язкість за температури 20, 50 і 100° С (в залежності від марки оливи) Вміст водорозчинних кислот та лугів Вміст механічних домішок та води	Густина за температури 20° С В'язкість за температури 20, 50 і 100° С (у залежності від марки оливи) Вміст водорозчинних кислот та лугів

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

	Температура спалаху (у залежності від марки оливи визначається у відкритому чи закритому тиглі) Кислотне число Коксівність ***	Вміст механічних домішок та води Температура спалаху (у залежності від марки оливи визначається у відкритому чи закритому тиглі)
Пластичні мастила	Зовнішній вигляд Вміст води Вміст механічних домішок Температура краплепадіння Вміст вільних лугів та органічних кислот Колоїдна стабільність (якщо передбачено НД)	Не проводиться
Протидокристалізаційні присадки	Густина за температури 20 ⁰ С Зовнішній вигляд Вміст механічних домішок Вміст води Вміст розчинних забруднень Показник заломлення	Не проводиться
Протильодотвірні рідини	Густина за температури 20 ⁰ С Зовнішній вигляд Вміст механічних домішок В'язкість за температури 20 ⁰ С (для рідини «Арктика-200») Реакція середовища (рН)	Густина за температури 20 ⁰ С Зовнішній вигляд Вміст механічних домішок
Технічні рідини для авіаційних гідросистем	Густина за температури 20 ⁰ С Зовнішній вигляд В'язкість за температури 50 ⁰ С Температура спалаху у відкритому тиглі	Не проводиться
Вода дистильована	Вміст солі Концентрація водневих іонів (рН), визначається в разі зберігання дистильованої води один раз на добу	Не проводиться

Відповідність якості авіаПММ і ТР вимогам НД за показниками якості встановлюється згідно з паспортом якості постачальника. Повний контроль якості авіаПММ і ТР проводиться в лабораторії ПММ авіапідприємства. Відбір проб для проведення повного контролю якості виконується фахівцем ПЗК (служби ПММ).

Повний контроль якості авіаПММ і ТР виконують:

– після наповнення приймального резервуару до початку витрачання продукту для заправлення ПС;

– після внутрішньоскладських перекачувань або після перекачування з одного складу ПММ на інший до початку витрачання продукту з резервуара для заправлення ПС;

– після доливання продукту в резервуари складу ПММ;

– у разі зберігання авіаПММ і ТР на складі ПММ понад 6 місяців (за винятком ПВК присадок, повний контроль якості яких проводять один раз за 3 місяці);

– у разі виникнення підозри про погіршення якості продукту.

Оперативний контроль якості

Оперативний контроль якості авіаПММ і ТР проводять з метою виявлення початку зміни їхньої якості під час зберігання на складі ПММ підприємства та за необхідності перевірки якості без проведення повного контролю якості. Оперативний контроль якості проводять за показниками якості, наведеними у таблиці 9.2. Оперативний контроль якості авіаПММ і ТР проводиться в лабораторії ПММ авіапідприємства. Відбір проб для проведення оперативного контролю якості авіаПММ і ТР виконується фахівцем ПЗК (служби ПММ).

Оперативний контроль якості авіаПММ і ТР проводять:

– у разі зберігання понад три місяці;

– в інших випадках – за необхідності перевірки якості без проведення повного контролю якості.

Арбітражний контроль якості

Арбітражний контроль якості авіаПММ і ТР, які надійшли на склад ПММ або відвантажені зі складу ПММ підприємства, проводять у разі виникнення розбіжностей в оцінюванні їхньої якості лабораторіями ПММ відправника й одержувача. Арбітражний контроль якості проводять представники лабораторій, між якими виникли суперечки, і (за необхідності) нейтральної лабораторії.

Відбір проб для проведення арбітражного контролю якості проводить спеціальна комісія, яку призначає керівник підприємства. На відібрану для арбітражного аналізу пробу авіаПММ і ТР оформляється акт відповідної форми.

9.3 Лабораторії якості та основи метрологічного забезпечення контролю якості авіаційних пально-мастильних матеріалів

Вибір основного установчого лабораторного обладнання обумовлений раціональним плануванням і площею приміщень лабораторій ПММ підприємств цивільної авіації (ЦА). Лабораторне установче обладнання відрізняється різноманітністю, оскільки ряд організацій виготовляє його за власними кресленнями. Доцільно

проводити роботи в лабораторіях ПММ на лабораторних пристінних столах, робочі поверхні яких покривають лінолеумом або листами з пластику, що мають високу хімічну і термічну стійкість. Столи, на яких виконують нагрівання відкритим вогнем і перегонку нафтопродуктів, повинні бути покриті вогнетривким матеріалом. Встановлювані в приміщеннях лабораторій ПММ, витяжні шафи повинні мати верхній і нижній відсмоктувачі. Витяжні шафи забезпечуються комунікаціями для підведення водопровідної води, газу, електроенергії. Усередині шаф поміщають світильники у вибухобезпечному виконанні. Вимикачі і штепсельні розетки розташовуються поза шафою на передній панелі. Робочі поверхні витяжних шаф покриваються кахельною плиткою або пластиковими листами, що володіють високою хімічною і термічною стійкістю.

Для комплектування лабораторій ПММ широко використовуються набори, які являють собою комбінацію лабораторного столу і шафи, у відділеннях і секціях яких вкрито посуд і приладдя для виконання аналізів авіаПММ: визначення густини, кінематичної в'язкості, фракційного складу, вмісту водорозчинних кислот і лугів, вмісту води, температури спалаху у відкритому тиглі, кислотності і кислотного числа, а при наявності аналітичних ваг – вміст тетраетилсвинцю (ТЕС), механічних домішок, коксівності з наборами лабораторного посуду.

Ефективність роботи лабораторій ПММ підприємств залежить від рівня інженерного забезпечення їх виробничих приміщень, оснащення необхідними хімічними реактивами, матеріалами, посудом.

АвіаПММ апарати та прилади, які застосовуються в лабораторіях, умовно розподіляються на дві групи – спеціального та загального призначення.

Прилади та апарати спеціального призначення, як правило, комплектуються з кількох більш простих елементів та використовуються для визначення видів випробувань авіаПММ згідно з державними стандартами на нафтопродукт. До приладів та апаратів спеціального призначення можуть відноситись: апарат для перегонки нафтопродуктів, прилад для визначення вмісту фактичних смол, апарат для кількісного вмісту води в нафтопродуктах, прилад для випробування температури спалаху у відкритому тиглі, прилад для випробування температури спалаху у закритому тиглі, апарат для випробування температури початку кристалізації, апарат для випробування коксівності, прилад для випробування penetрації змазок, установка для випробування октанового числа бензинів.

Прилади загального призначення:

В лабораторіях для визначення густини використовують ареометричний метод. Ареометри постійної маси зі шкалою, градуйованої в одиницях густини ($\text{кг}/\text{м}^3$), називаються денсиметри, а зі шкалою, градуйованої в одиницях концентрації – % (за об'ємом), – відповідно ареометри. В лабораторіях ПММ використовують денсиметри спеціального призначення – нафтоденсиметри і спиртометри, а також денсиметри загального призначення. Також випускаються ареометри для вимірювання густини електролітів АЕ-1, АЕ-2, АЕ-3 та ареометри для вимірювання густини кислот АК.

Нафтоденсиметри скляні виготовляються трьох типів: з внутрішніми термометрами АНТ-1, АНТ-2 і без термометра. Шкали нафтоденсиметрів градуйовані в одиницях густини.

Спиртометри скляні призначені для вимірювання об'ємної концентрації етилового спирту у водних розчинах і градуйовані в процентах. Спиртометри АСП-1, АСП-2, АСП-3 випускаються без термометрів, а спиртомер АСПТ – з внутрішнім термометром.

Відлік показань ареометрів типу АН, АНТ, АК знімається по верхньому краю меніску рідини; типів АОН, АСП, АСПТ та АЕ – по нижньому меніску рідини.

У лабораторіях ПММ на сьогодні застосовують рідинні термометри, з яких найбільш поширені ртутні. Вони можуть бути використані для вимірювання температури від -35 до 350 °С. Для вимірювання більш низьких температур в якості термометричної рідини використовують етиловий спирт (від -70 до 65 °С) або толуол (від -90 до 90 °С). Спиртові та толуолові термометри прийнято використовувати тільки при низьких температурах (нижче -30 °С).

Потенціометричні прилади – рН-метри і іономіри – призначені для визначення активності (концентрації) водневих іонів (рН), одно- та двовалентних катіонів та аніонів, окисдно-відновних потенціалів, а також для потенціометричного титрування. Для вимірювання окисно-відновних потенціалів, які виражаються у вольтах і мілівольтах, застосовують платиновий індикаторний електрод і хлорсріблястий електрод порівняння. При потенціометричному титруванні спостерігають різку зміну (стрибок) потенціалу в момент кінця титрування.

Віскозиметри капілярні скляні в лабораторіях ПММ застосовуються для визначення кінематичної в'язкості авіаПММ і випускаються: для прозорих рідин – ВПЖ-1, ВПЖ-2, ВПЖ-М (Пінкевич); для непрозорих рідин – ВНЖ.

Кожен капілярний віскозиметр заводського виготовлення повинен забезпечуватися паспортом, в якому вказана його стала (С). Величина сталої не залежить від температури і визначається лише геометричними параметрами віскозиметра.

Рефрактометр – оптичний пристрій, призначений для визначення показників переломлення рідин шляхом вимірювання кута повного внутрішнього відображення світлового потоку між полірованою поверхнею скляної призми і тонким шаром рідини.

Ваги лабораторні поділяються на технічні, спеціальні і аналітичні ваги. У контрольних лабораторіях ПММ при аналізі авіаПММ використовують ваги двох видів: аналітичні та технічні. Аналітичні ваги відносяться до 1 та 2-го класу точності, технічні – до 3 та 4-го класу. Середня похибка зважування для вагів 1-го класу складає 0,0001%, 2-го – 0,0005%, 3-го – 0,001%, 4-го – 0,01%. До ваг додається комплект гир у спеціальному футлярі. Гирі з футляра беруть пінцетом.

Механічний секундомір згідно ГОСТ 5072-79 використовується в лабораторіях ПММ для точного виміру часу при виконанні вимірювань якості ПММ по ряду показників. У контрольних лабораторіях ПММ використовують секундоміри 1 чи 2-го класу точності з ціною поділки 0,1 чи 0,2 с та максимальній похибці вимірювання при температурі 20 ± 5 °С не більше 0,2-0,3 с.

Термостат служить для створення та підтримання впродовж довгого часу заданої температури, що необхідно, наприклад, для вимірювання кінематичної в'язкості. Термостати являють собою електронагрівальний прилад, в робочому просторі якого з високою точністю підтримується певна температура. Залежно від заповнення термостату, вони бувають повітряні та рідинні. Робочий простір рідинних термостатів, що застосовуються в лабораторіях ПММ, заповнюється водою, мастилом або гліцерином. Тепло підводиться нагрівачем, а відводиться холодильником. Постійна температура в робочому просторі забезпечується перемішуванням рідини пропелерною мішалкою, що приводиться в рух електродвигуном, і підтримується автоматично за допомогою терморегулятора. Найпростішим рідинним термостатом є скляний стакан місткістю 1-2 дм³ з ручною дротяною мішалкою.

Сушильна шафа являє собою приклад повітряного термостата і використовується для сушки та доведення до постійної маси реактивів, лабораторного посуду та випробуваних зразків.

Муфельна піч служить для нагрівання та прожарювання зразків при вимірі коксівності, зольності, для прожарювання порцелянового посуду, тиглів.

Дистилятори призначені для отримання дистильованої води, необхідної при проведенні випробувань, виготовленні титрованих та буферних розчинів та для полоскання лабораторного посуду. При виконанні особливо точних робіт використовують вдруге перегнану воду – бідистильовану.

Метрологічне забезпечення

Під терміном «метрологічне забезпечення» розуміють встановлення та застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності вимірювань.

Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія – наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності і способи досягнення необхідної точності вимірювань.

Організаційною основою метрологічного забезпечення є метрологічна служба, що складається з державної і відомчих служб. Під метрологічною службою розуміється мережа закладів та організацій, очолюваних держстандартом, діяльність яких спрямована на метрологічне забезпечення.

Технічну основу метрологічного забезпечення складають системи: державних еталонів одиниць фізичних величин; передачі розмірів одиниць фізичних величин від еталонів усім засобам вимірювань за допомогою зразкових засобів вимірювань і перевірки; державних випробувань засобів вимірювальної техніки, що забезпечують однаковість засобів вимірювань: при розробці та виробництві їх для обігу; обов'язкової перевірки або метрологічної атестації засобів вимірювальної техніки; стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів; стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості, речовин і матеріалів.

Правову основу метрологічного забезпечення становить державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ), що представляє собою комплекс нормативно-технічних документів, що встановлюють єдину номенклатуру стандартних взаємопов'язаних правил і положень, вимог і норм, що належать до організації та методики оцінювання і забезпечення точності вимірювань.

Еталони одиниць фізичних величин – засоби вимірювальної техніки (або комплекси засобів вимірювань), що забезпечують відтворення і зберігання одиниць з метою передачі їх розмірів робочим засобам вимірювань. Передача розмірів одиниць здійснюється за допомогою повірочних схем. В даний час діє більше 130 еталонів одиниць фізичних величин. ДСТУ 3231-95 встановлює класифікацію,

призначення, загальні вимоги до створення, зберігання і застосування еталонів.

Еталон повинен мати властивості: незмінність, відтворюваність одиниці фізичної величини з найменшою похибкою, можливості порівняння за перевіркою схемою з найвищою точністю.

Незмінність еталону – властивість еталону утримувати незмінним розмір відтвореної ним одиниці протягом тривалого періоду часу, а усі виміри, залежні від зовнішніх умов (температура, вологість, тиск тощо), мають бути строго визначеними функціями величин, що доступні точному вимірюванню.

Відтворюваність еталону – можливість відтворення одиниці фізичної величини з найменшою похибкою для даного рівня розвитку вимірювальної техніки.

Звірюваність еталону – можливість забезпечення звірення з еталоном інших засобів вимірювання, нижчих за перевіркою схемою, з найвищою точністю для цього рівня розвитку техніки вимірювання.

Еталони одиниць класифікують за рядом ознак. Відповідно до поділу фізичних величин розрізняють еталони основних і похідних одиниць, а за точністю відтворення одиниць і підпорядкованості – первинні (вихідні) і вторинні.

Первинні еталони відтворюють і зберігають одиниці і передають їх розміри з найвищою точністю, досяжною в даній галузі вимірювань. Різновидом первинних еталонів є спеціальні еталони, призначені для відтворення одиниць в встановлених особливих умовах (надвисокі частоти, тиску, температури і т.д.). Первинні і спеціальні еталони, офіційно затверджені в якості вихідних для країни, називають державними. На кожен з них затверджують державний стандарт.

До вторинних еталонів відносять еталони-копії, еталони порівняння і робочі еталони. Еталони-копії призначені для передачі розміру одиниці робочим еталонам, які служать для перевірки зразкових і найбільш точних робочих засобів вимірювань. Еталони порівняння призначені для взаємного звірення еталонів, які не можуть бути безпосередньо звірені один з одним.

За масштабністю, крім державних еталонів, є міжнародні стандарти, що належать групі країн і призначені для підтримки єдності вимірювань в міжнародному масштабі шляхом періодичного звірення національних еталонів з міжнародними і між собою.

Національний (державний) еталон одиниці величини – еталон, визнаний рішенням уповноваженого на те державного органу у якості вихідного на території України. В Україні еталони стверджує і зберігає

Державний комітет України з питань технічного регулювання і споживчої політики (Держспоживстандарт).

Міжнародні еталони зберігає і підтримує їх стан Міжнародне бюро мір і ваг (Франція). Головним завданням МБМВ є систематичні міжнародні звірки національних еталонів. Ці звірки допомагають виявити систематичні похибки відтворення одиниць вимірювання національними еталонами, виявити, наскільки національні еталони відповідають міжнародному рівню, і намітити шляхи вдосконалення національних еталонів. Звірки підлягають як еталони основних величин системи СІ, так і похідних. Встановлені певні періоди звірення. Наприклад, еталони метра і кілограма звіряють кожні 25 років, а електричні і світлові еталони – один раз в 3 роки.

Метрологічне забезпечення контролю якості авіаПММ

Збереження якості і гарантія видачі на заправку кондиційних авіаПММ залежать від достовірності і правильності лабораторного контролю їх якості на підприємствах цивільної авіації. Це досягається розробленою системою метрологічного забезпечення аналізів, заснованою на забезпеченні єдності і точності вимірювань.

Найважливішими елементами метрологічного забезпечення контролю якості авіаПММ є метрологічна атестація і повірка засобів вимірювальної техніки, метрологічна експертиза нормативно-технічної документації на авіаПММ і методи контролю їх якості, метрологічна атестація методів випробування контролю якості авіаПММ.

Метрологічна атестація – встановлення точностних характеристик методів контролю якості, стандартизованих засобів вимірювань, методик виконання вимірювань. Метрологічну атестацію методів контролю якості авіаПММ і нормативно-технічної документації проводять органи державного стандарту з залученням відповідних галузевих організацій.

Метрологічна експертиза нормативно-технічної документації є аналіз і оцінка технічних рішень по вибору параметрів, що підлягають вимірюванню, встановленню норм точності вимірювань, забезпечення методами і засобами вимірювань процесу контролю якості.

Органи державного стандарту не рідше одного разу на п'ять років повинні проводити перевірку діючих стандартних методів контролю якості авіаПММ.

Дотримання термінів повірки засобів вимірювальної техніки, перевірку працездатності засобів вимірювальної техніки, своєчасне внесення до нормативно-технічної документації змін, прийнятих держстандартом, здійснюють лабораторії ПММ підприємств цивільної авіації.

Повірку засобів вимірювань проводять відповідні метрологічні служби – базові перевірочні та ремонтні лабораторії підприємств цивільної авіації і органи державного стандарту.

Повірка засобів вимірювальної техніки і перевірка їх працездатності спрямовані на підвищення достовірності контролю якості авіаПММ шляхом зменшення інструментальної похибки.

9.4 Засоби зберігання пально-мастильних матеріалів. Резервуари та їх обладнання

Склад ПММ авіаційних підрозділів забезпечує палим, мастильними матеріалами і спецрідинами не тільки повітряне судно (ПС), але й авіаційну наземну техніку (АНТ) для обслуговування повітряного судна, пасажирів та техніку для утримання аеродрому.

Правильний вибір організаційної схеми забезпечення авіапідприємства ПММ, а також необхідного комплексу споруд і устаткування складу ПММ можна здійснити, якщо обґрунтована потреба авіапідприємства в нафтопродуктах за сортами і кількістю, інтенсивність руху літакового парку за типами протягом кожної доби, а також визначені засоби доставки нафтопродуктів і їхні постачальники.

При визначенні місткості резервуарного парку складу ПММ і номенклатури устаткування доцільно виходити з того, що склад повинен забезпечувати кондиційними ПММ і спеціальними рідинами літаки і гелікоптери аеропортів, авіаційно-технічні бази, стаціонарні і рухливі установки, агрегати і механізми, що знаходяться в безпосередньому веденні аеропорту, або інших підприємств цивільної авіації, що базуються на його території.

За своїми функціональними можливостями склади можуть бути витратними і перевалочними.

У кожному аеропорті передбачається, як правило, один витратний склад, що забезпечує такі технологічні операції: прийом ПММ, перекачування пального по внутрішньоскладських і зовнішніх трубопроводах, фільтрацію пального при прийомі до резервуарів, зберігання ПММ, відстоювання авіаПММ у резервуарах і виведення відстою, верхній забір пального з видаткових резервуарів, фільтрацію і водовідділення авіапального перед їхньою подачею до стаціонарних і пересувних засобів заправки, видачу ПММ для заправки літаків (рухомими і стаціонарними засобами) і для інших потреб аеропорту, видачу автотракторних ПММ, додавання до пального спеціальних присадок, контроль якості ПММ у процесі приймання, зберігання і видачі, підрахунок кількості прийнятих ПММ, а також таких, що

зберігаються та відпускаються, скорочення втрат, збирання та утилізація ПММ, підігрівання мастил і води, впорядкування сумішей авіамастил, збирання, зберігання і відвантаження відпрацьованих нафтопродуктів, охорону навколишнього середовища.

Перевалочні склади ПММ створюються в аеропортах, де відсутні залізничні колії (внаслідок неможливості або неекономічності їхнього спорудження). Перевалочний склад у таких випадках будується біля залізничних колій загального користування або біля причалів (при доставці авіаПММ водним шляхом). До задач перевалочного складу відносять: приймання авіаПММ, короткочасне зберігання ПММ, перекачування ПММ по внутрішньоскладських і зовнішніх трубопроводах, контроль якості ПММ і спецідин при прийомі, зберіганні і видачі, видача ПММ до транспортних засобів, підрахунок кількості прийнятих ПММ, а також таких, що зберігаються та відпускаються, охорона навколишнього середовища.

Залежно від ємності резервуарного парку склади ПММ розподіляють на три категорії:

I категорія – 100000 м³

II категорія – 20000 – 100000 м³

III категорія – до 20000 м³

До загальної місткості складу відносять місткість резервуарів і нафтопродуктів у тарі. Чим більший обсяг перевезень в аеропорту, тим більша середньодобова витрата авіапального і місткість складу.

Територія і зони складу

Генеральний план складу komponують за зональним принципом, тобто розташовують усі об'єкти складу в єдиній технологічній лінії, об'єднуючи технологічне устаткування, будівлі та споруди в умовні зони.

На складі ПММ можна виділити такі зони: зона прийому авіаПММ, зона зберігання ПММ, зона видачі авіаПММ, зона службово-виробничих споруд, зона перспективної забудови.

Зона прийому (авіаПММ) включає майданчик для зливу палива з автоцистерн і майданчик для розвантаження ПММ в тарі. Майданчик для зливу палива з автопаливоцистерн (АПЦ) або ПЗ може перебувати поза межами складу.

Паливо в резервуари складу перекачують насосом автомобільної паливної цистерни (АПЦ) або паливозаправника (ПЗ) з використанням їх рукавів або по трубопроводах, виведеним від резервуара за межі складу. При доставці палива в АПЦ, які не мають власних систем перекачування, для зливу використовують механічний або ручний насос. Паливо приймають в підготовлені резервуари.

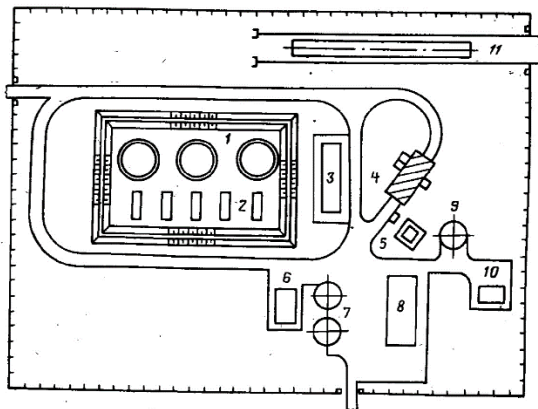


Рисунок 9.11 – Схема генерального плану розхідного складу пально-мастильних матеріалів: 1 – вертикальні резервуари; 2 – горизонтальні резервуари; 3 – насосна станція; 4 – пункти видачі/прийому; 5 – пристрій для зливу відстою; 6 – станція пожежогасіння; 7 – пожежні водойми; 8 – виробничі приміщення; 9 – каналізаційна насосна станція; 10 – трансформаторна підстанція; 11 – зливна естакада

При зливі палива не допускається змішування палив різних сортів і заповнення ємностей понад встановлений обсяг (з урахуванням температурного розширення палив).

Величину недоливу в літрах можна підрахувати за формулою:

$$V_n = \alpha V_p (t_p - t_r) \cdot 100, \quad (9.1)$$

де, α – коефіцієнт об'ємного розширення палива при нагріванні ($\alpha = 0,00085 - 0,0010$); V_p – повний обсяг резервуара, м³; t_p – максимально можлива температура палива в резервуарі, °С; t_r – температура палива, що зливається °С.

На ділянці прийому повинен бути встановлений приймальний сітчастий фільтр для захисту систем перекачування від можливого попадання сторонніх предметів (болти, гайки і великі механічні домішки).

За насосом встановлюють фільтр з тонкістю фільтрації 40 мкм (ТФ-2М), відповідну запірну арматуру і лічильники. Все обладнання ділянки зливу розміщують на бетонному або брукованому майданчику біля узбіччя.

Кожне місце зливу оснащують заземлювальним пристроєм, що складається з приєднувального елемента, ручки, струмовідводу і штиря заземлення. Штир заземлення виготовляють з металевого стержня довжиною 200-250 мм, діаметром 4-6 мм. Струмовідвід виконують з гнучкого троса діаметром 2,5-3 мм. Ручка (з дерева або пластмаси) служить для захисту від ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом при приєднанні і відключенні заземлювального пристрою.

Для створення єдиного електричного кола між автоцистерною і землею в твердому покритті встановлюють спеціальні заземлення електроди – металеві труби діаметром 100-120 мм і довжиною 2,5 м, забиті в ґрунт. На верхньому кінці труби приварюють контактний пристрій, що забезпечує надійний контакт штиря заземлення з заземненим електродом.

Для заземлення наземних трубопроводів через кожні 200 м розташовують сталеві електроди довжиною 2,5 м. У місцях фланцевих з'єднань трубопроводу з насосами, фільтрами, засувками використовують перемички з мідного дроту.

Зона зберігання авіа ПММ. До основних споруд даної зони відносяться: резервуари для зберігання палива, майданчики для зберігання палива і оливи в тарі, під'їзди для пожежних автомашин, споруди пожежного інвентарю, засоби захисту від блискавки та статичної електрики (заземлюючі пристрої).

Зона зберігання є найбільшою серед інших зон і в основному визначає площу території складу.

Для запобігання розтікання палива по території складу при руйнуванні резервуара і забезпечення пожежної безпеки резервуарна група відокремлюється від решти території безперервним земляним валом висотою 1 м і шириною по верху не менше 0,5 м.

Для забезпечення пожежної безпеки зона зберігання повинна бути віддалена від інших споруд на певні відстані від резервуарів залежно від категорії складу авіаційних ПММ.

Резервуарний парк – група (групи) наземних резервуарів, призначених для зберігання нафти і нафтопродуктів і розміщених на території, обмеженій по периметру обвалуванням або огорожувальною стінкою. Резервуарні парки пов'язані комунікаціями і технологічними зливо-наливними процесами з прийому та відвантаження нафти і нафтопродуктів з основними технологічними зонами нафтобази.

Розміщуються резервуарні парки на території нафтобази з урахуванням раціонального варіанту проведення технологічних

операцій, тобто бажано використовувати рельєф місцевості для проведення операцій самопливом. З протипожежних міркувань все-таки рекомендується по можливості розміщувати резервуари в знижених місцях території.

Резервуари рекомендується розташовувати в групі рядами. Передбачати більше чотирьох рядів у групі резервуарів не рекомендується, оскільки будуть ускладнені умови їх експлуатації і монтажу.

Для кожного резервуара, що знаходиться в експлуатації, мають бути такі документи: технічний паспорт резервуара, технічний паспорт на понтон, градувальна таблиця резервуара, технологічна карта резервуара і схема технологічних трубопроводів, журнал поточного обслуговування, журнал експлуатації блискавкозахисту, захисту від прояву статичної електрики, схема блискавкозахисту і захисту резервуара від проявів статичної електрики.

Класифікація резервуарів

За способом розміщення резервуарів резервуарні парки поділяються на:

- надземні та наземні, обладнуються сталевими вертикальними циліндричними нафтовими резервуарами зі стаціонарним або плаваючим дахом, понтонами або резервуарами спеціальних конструкцій;
- напівпідземні, обладнуються залізобетонними резервуарами з облицюванням всередині сталевим листом або без неї;
- підземні, дозволяють створити значні запаси продуктів при невеликих площах в порівнянні з наземними або напівпідземними;
- підводні, складаються з підводних резервуарів або танкерів, які використовуються в якості резервуарних парків.
- казематний (бетонується, а потім засипається землею) – на випадок війни, природних стихій.

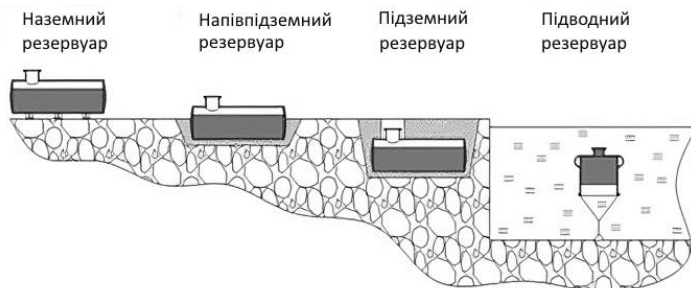


Рисунок 9.12 – Типи резервуарів, залежно від розташування

За матеріалом, з якого виготовляють резервуари, вони класифікуються наступним чином:

- залізобетонні;
- металеві;
- неметалеві (гумотканинні, пластикові, склопластикові і т.д.);
- організовані в природних порожнинах (шахтні, льодогрунтові і

т.д.).

За формою корпусу резервуари поділяються на:

– циліндричні, які бувають горизонтальні (мають циліндричний горизонтальний корпус та напівсферичні або плоскі з підсилюючими ребрами днища);

– вертикальні (мають вертикальні циліндричні стінки та плоскі днища і покрівлю);

- краплеподібні;
- кулясті (сферичні);
- прямокутні.

Також важлива класифікація резервуарів за способом організації даху, у зв'язку з чим виділяють:

- резервуари з плаваючим дахом;
- резервуари зі стаціонарним дахом і понтоном;
- резервуари зі стаціонарним дахом і без понтона.

За місткістю:

- малої ємності – до 1000 м³;
- середньої ємності – 1000, 3000, 5000, 10000 м³;
- великої ємності – 20 000, 50 000, 100 000, 120 000 м³.

Для зберігання легкозаймистих горючих рідин проектується і встановлюються окремо стоячі та групові резервуари. Максимальний об'єм резервуара встановлюється: з плаваючим дахом – 120 тис.м³; з постійним дахом – 20 тис.м³.

Вертикальні резервуари

Для зберігання авіаційного пального найбільш широко застосовують вертикальні металеві резервуари, оскільки вони прості у виготовленні і порівняно економічні за вартістю. Основними конструкційними елементами вертикального резервуара (рис. 9.13) є корпус, дах, днище, центральний стояк, сходи.



Рисунок 9.13 – Вертикальний металевий резервуар (PVC)

Днище збирають із сталевих листів розміром 1,5 x 6 м товщиною 4-25 мм. Обичайка резервуара зварюється поясами з декількох листів, з'єднаних довгою стороною горизонтально.

Розташування поясів може бути східчастим, телескопічним або встик. Корпус цих резервуарів виготовляють з окремих листів, сполучених встик, а пояса зварюють внапуск. Залежно від внутрішнього тиску в газовому просторі резервуара, настил даху або приварюється до несучих елементів (ферм), або вільно укладається на несучі конструкції, а листи з'єднують між собою тільки верхніми швами.

Вертикальні металеві резервуари виготовляються стандартної місткості від 100 до 50000 м³ методом полистової зборки зі зварюванням листів безпосередньо на будівельному майданчику або з рулонних заготівель, і встановлюються наземно.

Горизонтальні резервуари

Для зберігання авіамастил, пального і спецрідин у невеликих кількостях використовують горизонтальні резервуари. Ці резервуари виготовляють серійно в заводських умовах. Вони розраховані на надлишковий тиск до 0,04 МПа і вакуум – до 0,001 МПа. За формою днища розрізняють горизонтальні резервуари із плоским, сферичним або конусним днищем.

Резервуари зі сферичними днищами використовують при необхідності зберігання нафтопродукту при відносно високому тиску (більше 0,3 МПа).

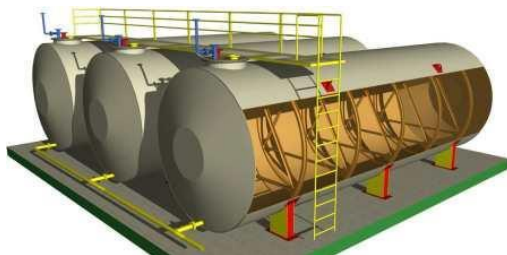


Рисунок 9.14 – Група горизонтальних резервуарів

Циліндричний горизонтальний резервуар конструктивно складається з наступних частин: опорної частини, корпусу і устаткування. Опорна частина має різні варіанти:

- для наземних і підземних резервуарів – ущільнена піщана подушка, верхній шар якої просочується гарячим бітумом;
- для наземних і надземних резервуарів – сідлові залізобетонні опори; залізобетонні або сталеві опорні стійки, встановлені на стовпчастих фундаментах.

Корпус резервуара складається з циліндричної частини (стінки) і торцевих стін. Корпус виготовляється з декількох кілець (обичайок) діаметром не більше 3,25 м. Вони з'єднуються між собою зварюванням встик або в нахлест. Товщина стін корпусу розраховується на міцність і стійкість. Для сприйняття вакууму, ґрунтового тиску (якщо резервуар підземний), а також для забезпечення жорсткості при транспортуванні, навантаженні/розвантаженні та монтажу, в кожній обичайці встановлюють кільця жорсткості. Торцеві стінки виконуються різної конструктивної форми в залежності від робочого надлишкового тиску і діаметра корпусу: при надмірному тиску до 40 кПа вони плоскі, до 70 кПа – конічні або пологі сферичні. Для резервуарів, розрахованих на високий надлишковий тиск, бічні стінки напівсферичні, або еліпсоїдні. Всі резервуари оснащуються сходами, люк-лазом, комплектом технологічного обладнання та приладів.

Усі конструктивні елементи резервуарів відповідно до вимог до матеріалів поділяють на основні та допоміжні. До основних конструкцій відносять стінки, днища, перегородки, опорні діафрагми і кільця жорсткості, люки, патрубки, які посилюють накладки, опори. До допоміжних конструкцій відносять сходи, площадки, переходи і огорожі. Для основних конструкцій резервуарів повинна застосовуватися тільки вуглецева сталь звичайної якості або низьколегована. Для допоміжних конструкцій з урахуванням

температурних умов експлуатації допускається застосування вуглецевої напівспокійної та киплячої сталей.

Контроль якості зварних з'єднань слід проводити:

- візуальним оглядом та вимірюванням;
- механічними випробуваннями;
- фізичними методами;
- методом кольорової або магнітопорошкової дефектоскопії.

Візуальний контроль, включаючи вимірювання, необхідно проводити після очищення швів і прилеглих поверхонь від шлаку, бризок і других забруднень. Контролю і вимірюванню підлягають всі зварні шви для виявлення зовнішніх неприпустимих дефектів.

Основною перевагою горизонтальних підземних резервуарів є те, що істотно зменшуються втрати нафтопродуктів від випаровування при нагріванні сонячними променями, забезпечується пожежна безпека, а також створюються зручності для розміщення частини технологічного устаткування. До числа основних незручностей, зв'язаних з технічною експлуатацією підземних горизонтальних резервуарів, відносять складності при ремонті і технічному обслуговуванні.

Сфероїдальні (кульові) резервуари

Для створення значних тисків і вакууму сталеві циліндричні резервуари не підходять, оскільки в резервуарах з внутрішнім опорним кільцем і внутрішніми ребрами жорсткості виникають зони концентрації високих напруг. Для запобігання цього недоліку розроблені краплеподібні, багатокупольні та сферичні резервуари. До сфероїдальних можна також віднести найбільш близькі за конструкцією резервуари зі сферичною покрівлею і днищем.

Краплеподібні резервуари застосовують для зберігання нафтопродуктів з високою пружністю парів, що легко випаровуються, коли недоцільно використовувати для цієї мети звичайні вертикальні резервуари, розраховані на тиск 2 кПа.

Сферичні резервуари використовуються для зберігання бензину, зріджених газів, газових конденсатів на нафтопереробних, нафтохімічних підприємствах, заводах стабілізації газового конденсату. Головними перевагами цих резервуарів в порівнянні з циліндричними резервуарами є менша витрата металу при однаковому обсязі і ідентичних умовах експлуатації, можливість створення високих значень робочого надлишкового тиску.

Неметалеві резервуари

До неметалевих належать резервуари різних форм і конструкцій, виконані з різних матеріалів: залізобетонні, бетонні, цегляні, кам'яні, із синтетичних матеріалів (пластиків), гнучкі оболонки на тканинній

основі та з нетканних матеріалів), місткості природного характеру. Неметалеві резервуари споруджуються заглибленими, тобто підземними і напівпідземними, і рідше – наземними. Вони більш довговічні ніж металеві, оскільки в меншій мірі схильні до корозії, а будуються неметалеві резервуари монолітними і збірними.

Матеріали, що застосовуються для будівництва, повинні бути міцними і непроникними для нафти, її продуктів і води. Крім того, вони повинні бути морозостійкими. На форму і розміри резервуара впливають такі показники: величина заглиблення нижче рівня ґрунтових вод; вид будівельного матеріалу, економічні міркування. В цілому неметалеві резервуари можуть бути круглі, прямокутні, сферичні, з похилими стінами.

Залізобетонні резервуари, залежно від виду нафтопродукту, що у них зберігається, поділяються на резервуари для мазуту, нафти, масел і світлих нафтопродуктів. Оскільки нафта і мазут практично не мають хімічного впливу на бетон і мають здатність тампонувати дрібнопористі матеріали за рахунок своїх важких фракцій і смол, зменшуючи згодом їх проникність, при зберіганні цих нафтопродуктів у залізобетонних резервуарах не потрібен спеціальний захист стінок, днища і покриття резервуара. При зберіганні мастильних масел, щоб уникнути їх забруднення, внутрішні поверхні резервуарів захищають різними покриттями і облицюваннями. Те саме можна сказати і про резервуари для світлих нафтопродуктів, які, маючи незначну в'язкість, легко фільтруються через бетон.

Пластикові та гібридні резервуари. Промислове освоєння бензостійких синтетичних еластичних пліткових матеріалів і накопичений досвід застосування дозволяють перейти до більш широкого і раціонального використання їх в резервуаробудуванні. Гнучкі оболонки доцільно застосовувати в будівництві заглиблених резервуарів, призначених для зберігання всіх видів нафтопродуктів (світлих, темних і масел) і в усьому діапазоні місткостей (до 40 000 м³ і навіть більше). Перспективною є конструкція траншейного резервуара комбінованого типу, що складається з ґрунтового котловану, гнучкої оболонки, що облицює котлован, і збірного залізобетонного покриття, розташованого вище рівня землі. Такі резервуари можуть мати в плані прямокутну і круглу форми

М'які резервуари з прогумованої тканини або нетканних матеріалів. Здавня для зберігання і транспортування нафти використовувалися бурдюки – шкіряні мішки з обробленої шкіри тварин. Згодом з появою бензооливістійкої гуми з'явилися

гумотканинні резервуари, а їм на зміну прийшли резервуари і мембрани з нових синтетичних тканин і нетканих матеріалів.

Обладнання резервуарів

Патрубки та люки резервуара. Патрубки в стінці призначені для приєднання зовнішніх і внутрішніх трубопроводів, контрольно-вимірювальних приладів та інших пристроїв, що вимагають виконання отворів в стінці.

Найбільш відповідальними, в плані забезпечення надійності резервуару, є патрубки прийому і роздачі продукту, розташовані близько з днищем в зоні вертикального вигину стінки і сприймають значні технологічні та температурні навантаження від приєднаних трубопроводів.

Люк світловий верхній призначений для внутрішнього огляду й провітрювання перед ремонтом і зачисткою резервуару. Може застосовуватися для підйому кришки хлопавки та шарнірних труб при прориві робочого троса. Люк встановлюється на даху резервуара над хлопакою, що монтується на приймально-роздаточному патрубку. У корпусі люка є скоба, до якої прикріплюється запасний трос управління хлопакою для заміни робочого троса в разі обриву.

Люк-лаз призначений для внутрішнього огляду, ремонту і зачистки резервуара. Виготовляється в двох виконаннях: круглий і овальний. Встановлюється в 1-у поясі резервуара на висоті 700 мм. Люк служить для вентиляції резервуара при виробництві вогневих робіт і повинен розташовуватися діаметрально протилежно світловому люка

Замірний люк призначений для ручного виміру рівня та відбору проби нафтопродукту з резервуара. Люк встановлюється через прокладку на даху вертикального або на кришці горловини горизонтального резервуара. З'єднання - фланцеве, болтове.

Патрубок вентиляційний призначений для вентиляції і виключення попадання сторонніх предметів всередину вертикальних циліндричних резервуарів. Встановлюється на даху резервуара.

Патрубок приймально-роздавальний призначений для приєднання прийомних і роздавальних трубопроводів, запірної арматури, хлопавок та іншого обладнання для вертикальних циліндричних резервуарів, а також для закачування (відкачування) нафти (нафтопродуктів) до резервуара (з резервуара). Монтуються в нижньому поясі резервуара.

Хлопавка з керуванням призначена для приймально-роздавальних патрубків для запобігання втрат продукту з резервуара в разі розриву технологічних трубопроводів або відмови розміщених на

ньому запірних пристроїв. Хлопавка встановлюється всередину резервуара на фланець приймально-роздавального патрубку.

Крани сифонні призначені для видалення підтоварної води та механічних домішок, які осіли на дно резервуара при відстоюванні нафтопродукту, або для зливання палива при відмові хлопавки. Основний елемент сифонного крана – вигнута труба діаметром 50-80 мм, пропущена через сальник. У робочому положенні сифонний кран встановлюють піддашком (козирком) вгору, що виключає випадки вмерзання труби крана в шар відстояної води. Для видалення з резервуару вільної води знімають кожух і повертають сифонний кран ручкою в нижнє положення, при цьому зливний отвір сифона занурюється в воду.

Плаваючий забірний пристрій призначений для відкачування палива з верхніх шарів резервуара (в верхніх шарах, продукт чистіший, так як частинки забруднень і вода внаслідок більшої питомої маси поступово осідають) для газотурбінних установок, щоб не допустити подачу забрудненого палива і його застигання при мінусових температурах (не має бути обводнення).

Дихальна арматура резервуарів включає дихальні та перехідні клапани. При заповненні резервуарів або підвищенні температур в газовому просторі тиск в них росте. Так як резервуари розраховані та тиск, близький до атмосферного, їх може просто розірвати. Щоб цього не трапилося, в резервуарах встановлені дихальні та запобіжні клапани. Перші відкриваються, як тільки надмірний тиск в газовому просторі досягне 2000 Па, інші страхують дихальні клапани, вони спрацьовують при тиску на 5–10% вище.

Дихальна арматура захищає резервуари і від стискання при зменшенні тиску при випороженні або зменшенні температур в газовому просторі. Як тільки вакуум досягає допустимого значення, відкриваються дихальні клапани, в газовий простір резервуарів потрапляє атмосферне повітря. Якщо їх пропускна здатність недостатня і вакуум продовжує збільшуватися, то відкриваються запобіжні клапани.

Дихальна арматура не лише запобігає руйнуванню резервуарів внаслідок надзвичайно великих тиску або вакууму, але є первинним засобом скорочення втрат нафтопродуктів від випаровування. По-перше, ця арматура знаходиться в звичайному закритому стані, що запобігає вентиляції газового простору резервуарів. По-друге, впуск свіжої порції повітря в резервуар (для насичення якою, повинна випаритися якась кількість вуглеводневої рідини), як і впуск пароповітряної суміші з нього, не відбувається в момент зміни тиску в

газовому просторі, а із запізненням, визначаючи межі спрацювання дихальної арматури. Тим самим об'єм «дихальний», а звичай і втрати нафтопродуктів зменшуються.

Тип і кількість дихальних клапанів вибираються відповідно до їхніх технічних характеристик та мінімально необхідною сумарною пропускною здатністю дихальної арматури.

Гідравлічний запобіжний клапан використовують на випадок відмови в роботі механічного дихального клапану. Клапан заливають низько замерзаючою і слабо випаровуючою малов'язкою рідиною - дизельним паливом, соляровим маслом, водним розчином гліцерину, етиленгліколем або іншими рідинами, які утворюють гідравлічний затвор. Через цю рідину відбувається розділення газоповітряного простору резервуара та атмосфери. Клапан починає працювати при підвищенні тиску на 5-10 % в порівнянні з тиском, на який спрацьовує дихальний клапан.

При тиску в газоповітряній порожнині резервуара, що дорівнює атмосферному тиску, рівень рідини в коаксіальних циліндрах однаковий. Як тільки в резервуарі створюється розрідження, тиск зовнішнього повітря знижує рівень рідини в зовнішньому кільцевому просторі клапана до нижньої кромки внутрішнього циліндра, забезпечуючи попадання його до резервуару.

Вогнезапобіжники призначені для тимчасового запобігання проникнення полум'я та іскр в середину резервуара з нафтою, нафтопродуктами. Вогнезапобіжники – це комплектуючі вироби дихальних і запобіжних клапанів і патрубків. Встановлюються на конструкції понтона в резервуарі.

Запобіжник вогневий встановлюється на даху резервуара для зберігання нафти і нафтопродуктів під дихальним або запобіжним клапаном. Залежно від обсягу резервуара встановлюється кількість і тип вогневого запобіжника.

Полум'язапобіжники призначені для тимчасового запобігання проникненню полум'я всередину резервуара з нафтою і нафтопродуктами при запаленні вихідних з нього вибухонебезпечних сумішей газів і парів з повітрям.

Пробовідбірник служить для відбору проби по всій висоті резервуара з нафтопродуктом. Промисловість випускає два типи пробовідбірників: ПСР (пробовідбірник знижений резервуарний) та ПУР (пробовідбірник універсальний резервуарний). Встановлюють їх усередині резервуара і кріплять у вертикальному резервуарі до його даху, а в горизонтальних – до кришки наливної горловини.

Рівнемір призначений для контролю рівня наливу нафтопродукту у резервуарі. Прилад має кілька модифікацій з уніфікованими вузлами і загальними показуючими приладами. Показчик складається з трьох основних вузлів: показуючий прилад з відліковим механізмом, пружинним двигуном постійного моменту і механізмом перевірки зачеплення мірної стрічки змонтованими в єдиному алюмінієвому корпусі. Показуючий прилад встановлюють на зовнішній стінці резервуара на рівні 1,8 м від фундаменту.

Сигналізатор граничного рівня служить для запобігання переповнення резервуару при його закачуванні. Працює він в автоматичному режимі. При досягненні розрахункової відмітки рівня сигнал надходить на пульт управління ділянки наливу резервуара. Залежно від прийнятої схеми автоматики сигнал може надходити на відключення насосів.

9.5 Засоби заправки повітряних суден та підготовка авіаційних пально-мастильних матеріалів до заправки повітряного судна

Засоби заправки повітряних суден (ПС) поділяються на:

- аеродромні паливозаправники – рухомі технічні засоби, що забезпечують заправку ПС кондиційним авіапаливом з власної цистерни з дозованим введенням ПВК-рідини;

- аеродромні автопаливозаправники – рухомі технічні засоби, що забезпечують заправку ПС кондиційним авіапаливом з власної цистерни з дозованим введенням ПВК-рідини і призначені для руху по дорогах загального користування;

- агрегати заправки ПС з централізованої заправки літаків (ЦЗЛ) – рухомі, пересувні і стаціонарні технічні засоби, що забезпечують заправку ПС кондиційним авіапаливом з ЦЗЛ з дозованим введенням ПВК-рідини.

Окрім засобів заправки ПС, в складі служби ПММ (паливозаправного комплексу) аеропортів можуть знаходитись:

- засоби заправки наземної техніки, призначені для заправки техніки паливом, маслами і спеціальними рідинами, а також для їх короткочасного зберігання і транспортування.

- засоби транспортування, призначені для транспортування пального та масел, і їх короткочасного зберігання.

Паливозаправники аеродромні до впровадження систем ЦЗЛ були основними засобами заправки паливом повітряних суден. До позитивних якостей паливозаправників відносяться їх маневреність,

автономність, здатність доставляти паливо безпосередньо до місць стоянок повітряних суден незалежно від їх розташування.

Незалежно від конструктивного виконання паливозаправники аеродромні (ПЗА) включають такі складові частини (модулі): транспортний, резервуарний, насосний і заправний, а також допоміжне обладнання.

В якості транспортного модуля (транспортної бази) сучасних ПЗА використовуються автомобільні шасі, напівпричіп-шасі, причіп-шасі автомобільної техніки загальної дорожньої мережі, спеціалізовані автомобільні шасі для роботи в умовах дорожньої мережі аеропортів або окремі елементи зазначених типів транспортної бази.

Резервуарні модулі включають одну або дві цистерни з технологічним обладнанням прийому, зберігання і видачі (зливу) палива. Цистерни бувають рамної або несучої конструкції.

Насосні модулі ПЗА можуть являти собою насосні установки з приводом від ходового двигуна транспортного модуля або від автономного (додаткового) двигуна.

Заправний модуль сучасного ПЗА являє собою комплекс технологічного обладнання, що забезпечує безпосередню заправку паливом повітряних суден з необхідними характеристиками по приймальній здатності паливних систем, в тому числі через кожен з бортових штуцерів, автоматичного регулювання тиску в процесі заправки і попередження гідродарних процесів і пульсацій, обліку обсягу палива, що заправляється та індикацію об'ємної швидкості заправки, очищення палива від твердих частинок забруднень і від вільної води.

В якості додаткової опції на заправних модулях деяких ПЗА за вимогами експлуатантів встановлюється обладнання дозованого введення протиліодотвірної рідин (ПВК-рідин). Заправні модулі на ПЗА можуть розміщуватися в передній частині (за кабіною водія) і в хвостовій частині за цистерною. Технологічне обладнання транспортного, резервуарного і заправного модулів може бути об'єднано в системи за функціональним призначенням.

До складу додаткового обладнання ПЗА входять засоби пожежогашіння, відведення статичної електрики, блокувальні і сигнальні пристрої і системи запобігання помилкових дій водія-оператора і аварійних (позаштатних) ситуацій, одиничний комплект запасних частин, інструментів і приладдя для забезпечення експлуатації ПЗА. На перспективних зразках ПЗА обладнання управління робочими операціями, діагностики і контролю може мати комп'ютерне (програмне) забезпечення. Для закритої заправки паливом деяких типів

повітряних суден імпортного виробництва до складу ПЗА додатково можуть включатися підйомні платформи з обладнанням.

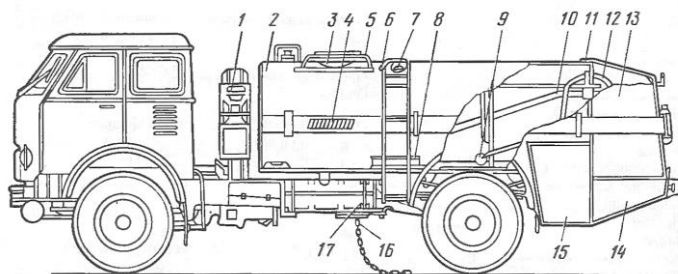


Рисунок 9.15 – Паливозаправник середньої місткості ТЗ-7,5:

- 1 – контейнер для установки бідонів; 2 – цистерна; 3 – люк горловини цистерни; 4 – приймальний рукав; 5 – майданчик з огорожею; 6 – драбина; 7 – труба заливна; 8 – комплект 5 ДК–2; 9 – поплавков показчика рівня; 10 – труба для огорожі; 11 – кран обмеження наповнення; 12 – труба напірна; 13 – кабіна управління; 14 – ящик; 15 – ящик роздаткового рукава; 16 – ланцюг для відводу статичної електрики; 17 – насос

Основними перевагами систем ЦЗЛ в порівнянні з пересувними засобами є: практично необмежена продуктивність і скорочення часу заправки ПС; підвищення рівня механізації і автоматизації процесу заправки; зменшення трудомісткості виробничого процесу внутрішньо-аеродромних перекачувань палива і скорочення обслуговуючого персоналу; зниження в середньому в 4 рази вартості доставки палива від витратного складу ПММ до баків літальних апаратів; виключення засмічення палива механічними домішками і попадання води до повітряного судна завдяки герметичності; при транспортуванні від резервуарів поліпшення умов до обслуговування ПС внаслідок скорочення кількості рухомих засобів механізації; підвищення протипожежної безпеки при заправці завдяки відсутності ємностей з паливом в безпосередній близькості біля ПС. Витрати на капітальне будівництво систем ЦЗЛ відносно невеликі і швидко окупаються за рахунок скорочення експлуатаційних витрат. В даний час застосовуються різні системи ЦЗЛ паливом, які можна поділити такі групи:

- малої продуктивності (спрощені) - до 100 м³/год;
- середньої (напівавтоматизовані) - до 500 м³/год;

– високопродуктивні (автоматизовані) - понад 500 м³/год.

– Заправку ПС паливом і маслом виконують з дозволу авіатехніка або бортінженера (бортмеханіка), якщо судно знаходиться під відповідальністю екіпажу. Перед заправкою авіатехнік зобов'язаний:

– злити відстій палива з баків ПС і візуально перевірити відсутність в ньому води і механічних домішок;

– по контрольному талону перевірити дозвол на заправку, відповідність марки авіа ПММ даному типу ПС, вміст в паливі протиліодотвірної присадки, дату і час перевірки відстою, злитого з ПЗ, наявність підписів посадових осіб служби ПММ, що підтверджують записи в контрольному талоні;

– перевірити відстій палива, злитий з ПС працівником служби ПММ, на відсутність в ньому води і механічних домішок;

– заземлити ПС, перевірити заземлення заправного засобу (ПЗ) і підключення троса (дроту) вирівнювання електричного потенціалу ПС і заправного засобу;

– перевірити наявність засобів пожежогашіння, упорних колодок під колесами опор судна, відсутність під крилом, фюзеляжем, гондолами драбин та інших великогабаритних предметів.

Якщо ПС знаходиться під відповідальністю екіпажу, відстій палива, злитого з баків судна і ПЗ, а також контрольний талон на паливо пред'являють бортінженерові (бортмеханіку) повітряного судна. При позитивних результатах перевірки готовності до заправки авіатехнік (бортінженер, бортмеханік, якщо ПС прийнято екіпажем) дає дозвіл на заправку, вказуючи режим заправки та розподіл палива між баками (групами), одночасно забезпечуючи включення автоматики централізованої заправки на ПС, перевірку кількості дозаправленого палива і розподіл його по баках (групам) паливної системи. Виконання робіт і контроль за закриттям горловин паливних баків (штуцерів) і люків підходу до них здійснюють відповідно до вимог РЛЕ і регламенту технічного обслуговування.

Організація очищення палива при заправці

Фільтр – апарат, в якому за допомогою пористої перегородки здійснюється поділ неоднорідних систем, що містять тверду і рідку (газоподібну) фази.

Існують методи вилучення забруднень із рідин. Всі вони умовно поділяються на три види.

1. Фільтрація – метод очистки рідини від твердих, а в ряді випадків і рідких забруднень при пропусканні її через пористу перегородку.

2. Використання силових полів – метод, заснований на ефекті взаємодії частинок забруднень будь-якої природи із силовим полем. Застосовують силові поля різноманітної природи: гравітаційне, відцентрове, магнітне, електростатичне, електромагнітне, а також поле сил, що генерується ультразвуковими коливаннями.

3. Фізико-хімічна очистка – метод заснований на відмінності фізико-хімічних властивостей очищуваних рідин і частинок забруднень. До цього методу можна віднести очистку й зневоднення робочих рідин сілікагелями або цеолітами, масообмінне осушення, виморожування вільної й емульсійної води і тощо. Забруднення вилучають за допомогою фільтрів і очисників, установлюваних безпосередньо в гідросистемі машин і механізмів, а також за допомогою автономних систем (стендів) очистки рідини (COP).

Сучасні і перспективні системи очистки рідин повинні відповідати строгим технічним, екологічним і економічним вимогам:

- забезпечувати високу тонкість очистки незалежно від природи, концентрації та розмірів забруднень;

- мати постійну пропускну здатність і забезпечувати ефективність роботи незалежно від часу напрацювання й обсягу очищеної рідини;

- мати велику брудомісткість;

- забезпечити високу надійність роботи;

- володіти об'єктивними засобами контролю за станом роботи системи і контролю чистоти рідини;

- мати мінімальний гідравлічний опір;

- забезпечувати автоматизований процес очистки, контролю стану і регенерації;

- задовольняти вимоги технологічності;

- мати малу масу і габарити, невисоку вартість установа і низьку собівартість очистки.

Методи і засоби очистки не повинні здійснювати негативний вплив на очищувану рідину і, навпаки, рідина не має чинити руйнуючу дію на елементи системи очистки

Фільтри

Конструкцію фільтра, як правило, складається з корпусу із патрубками підведення і відведення рідини, фільтруючого елемента та, іноді пристрій для контролю рівня забрудненості фільтроелемента. Рідину, яка очищується, під дією перепаду тиску прокачують через фільтруючий елемент. Очищена рідина проходить через наскрізні пори фільтрувальної перегородки, на якій затримуються забруднення у вигляді осаду. Чим менше розмір пор, тим дрібніші частинки

забруднень затримані фільтром. У більшості фільтрів фільтруючий елемент може бути витягнутим з корпусу при засміченні його пор. Фільтрувальні перегородки майже завжди розміщують на різноманітних опорних поверхнях, тому рідина при роботі фільтра повинна рухатися в строго визначеному напрямку, для чого на корпусі фільтра обов'язково наносять стрілку, що вказує напрямок потоку очищеної рідини.

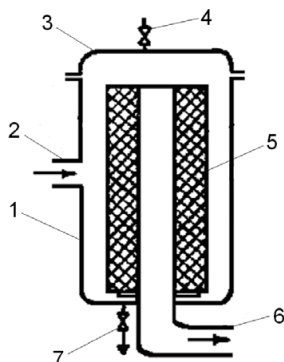


Рисунок 9.16 – Схема паливного фільтра

1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – кришка; 4 – кран для випуску повітря; 5 – пориста перегородка; 6 – вихідний патрубок; 7 – кран для зливу забрудненої рідини

За способом затримки частинок забруднень фільтроматеріали можуть бути поверхневі, об'ємні і комбіновані. Останні поєднують ознаки двох перших видів. Типовим прикладом поверхневого матеріалу є плетена металева сітка. Частинки забруднень, розмір яких більше розміру отворів сітки, при прокачуванні рідини затримуються на поверхні сітки.

Об'ємні фільтроелементи виготовляють із проникного матеріалу значної товщини. Для цього використовують папір, картон, целюлозу, скловолокно, тканину, замшу, сукно, мінеральну вату, пористу кераміку і металокераміку. Рідина очищається, проходячи по вузьких, довгих і звивистих каналах. Особливо добре затримуються в таких фільтроелементах волосяподібні частинки. Об'ємні фільтроелементи утримують частинки найрізноманітніших розмірів, тому що розміри і прохідні перерізи порових каналів менш однорідні, ніж у поверхневих фільтроелементів. Порівняно з поверхневими об'ємні фільтроматеріали мають більш високий гідравлічний опір, забезпечують якісну фільтрацію і володіють великою брудомісткістю, але після накопичення

забруднень не можуть бути відновлені.

У комбінованих фільтроелементах спочатку в ході руху рідини встановлюють об'ємний фільтрувальний матеріал, який забезпечує високу брудомісткість, а потім поверхневий, що служить для обмеження максимального розміру частинок, які пропускаються.

Основними характеристиками фільтрів і фільтрувальних матеріалів є такі показники, як тонкість фільтрації, пропускна здатність, гідравлічний опір і термін служби.

Тонкість фільтрації визначається мінімальним розміром частинок забруднювача, утримуваних фільтроелементом. Цей роз-мір залежить від розміру пор фільтруючого матеріалу. Оскільки визначити розмір порових каналів більшості фільтруючих елементів неможливо через неоднорідність порових каналів, тонкість фільтрації визначають мікроскопічним аналізом проб рідини, взятих перед фільтром і за ним.

Тонкість фільтрації різних фільтрувальних матеріалів визначається коефіцієнтом відфільтрування:

$$\varphi = \frac{n1-n2}{n2}, \quad (9.2)$$

де, $n1$ і $n2$ – кількість частинок забруднень цього розміру, які містяться у пробі рідини, взятій відповідно перед фільтром і за фільтром.

Значення коефіцієнта відфільтрування φ змінюється від 0 до 1. Чим вище значення коефіцієнта відфільтрування, тим більше частинок забруднення цього розміру затримує фільтр. Наприклад, якщо для частинок розміром 15 мкм значення $\varphi = 1$, то це означає, що фільтруючий матеріал затримує всі 100 % частинок зазначеного розміру. Залежність коефіцієнта φ від діаметра частинок називається кривою відфільтрування. Для кожного фільтрувального матеріалу вона визначається експериментально.

Для оцінки розмірів частинок забруднень, утримуваних фільтром, використовують поняття номінальної і абсолютної тонкості фільтрації.

Абсолютна тонкість фільтрації визначається максимальним розміром частинок забруднень, виявленого в пробі рідини, взятої за фільтром.

Номінальна тонкість фільтрації характеризується розміром частинок забруднень, виявлених в пробі рідини, взятої за фільтром, для якого коефіцієнт відфільтрування дорівнює $\varphi = 0,97$ (ГОСТ 1.00523–72). Номінальна тонкість фільтрації вказується у паспорті фільтра.

З визначення номінальної тонкості фільтрації випливає, що фільтр із номінальною тонкістю фільтрації 5, 10, 20 мкм може

пропускати в систему до 3 % частинок, розмір яких більше зазначеної величини.

Зі збільшенням прокачування через фільтрувальний матеріал збільшується перепад тиску. Це може призвести до руйнації фільтрувального матеріалу і до збільшення розміру частинок, які мігрують через пористий матеріал. Тому кожний фільтр розраховують на роботу з визначеним прокачуванням рідини. Зазвичай фільтруванню піддають рідини, в яких містяться полідисперсні частинки забруднень, мікрокраплі води, мікропузирчики газів і різноманітні мікроорганізми.

При малих концентраціях забруднень забивання пор може починатися з поступового, проміжного або повного закупорювання пор і після тривалої фільтрації переходити до забивання з утворенням осаду. При великих концентраціях забруднень забивання пор починається аналогічно, але цей процес дуже швидко переходить до забивання з утворенням осаду, тому в ряді випадків початкових видів закупорювання пор можна не помітити. Тоді вважають, що забивання пор відбувається з утворенням осаду.

Для запобігання передчасній заміні фільтроелемента при неповному використанні його «брудомісткості» на фільтрах рекомендується встановлювати манометри або сигналізатори забрудненості, що подають інформацію про досягнення заданого перепаду тиску.

Сигналізатор забрудненості фільтра може бути виконаний у вигляді індикаторного стержня або стрілки, висування або відхилення яких свідчать про перепад тиску на фільтрі. Іноді індикатор виконують електричним.

Матеріал фільтроелемента може бути одноразового та багаторазового застосування. До останнього відносяться дратові, сітчасті, пластинчасті, металокерамічні фільтри. Фільтроелементи, виготовлені з паперу, повсті, бавовни, придатні лише для разового застосування. Фільтроелемент, виготовлений із паперу, з часом розбухає і може тріснути вздовж рифлення. З огляду на це, на паперові фільтруючі елементи встановлюють визначений термін зберігання і роботи, після чого його рекомендовано викидати незалежно від досягнутого перепаду тиску.

Для регенерації глибинних фільтрів застосовують продування фільтроелементів стиснутим повітрям, промивку очищувальною робочою рідиною або спеціальною миючою рідиною. Напрямок потоку при цьому встановлюють оберненим до напрямку руху рідини.

Для підвищення ефективності очистки з успіхом застосовують високочастотну механічну вібрацію фільтра разом із потоком рідини, а

також промивку в ультразвуковій ванні. Експерименти показали, що ультразвукова очистка відновлює пропускну здатність металокерамічних фільтроелементів до 90 % від номінальної. Для вимивання забруднень, які накопичилися в глибині фільтроелемента, використовують сили, що виникають у момент схлопування кавітаційних бульбашок при впливі на миючу рідину ультразвукового коливання. При цьому в кавітаційних бульбашках відбувається місцеве різке підвищення тиску (до декількох десятків мегапаскалів) і температури (до 300-400 °С).

Фільтроматеріали повинні забезпечувати необхідну тонкість фільтрації рідини при високому значенні коефіцієнта відфільтровування, мати високу вібро- і механічну міцність, велику брудомісткість, здатність до багатократної регенерації, не впливати негативно на фізико-хімічні властивості очищуваних рідин і не адсорбувати присадки, які вводяться в рідину (протиспрацьовувальні, антиокиснювальні, антистатичні тощо), не змінювати своїх властивостей під дією фільтрованих рідин, не забруднювати рідину частинками матеріалу, з якого виготовлений фільтр, не коштувати дорого. Застосовувані на практиці фільтроматеріали дуже різноманітні.

Контроль якості авіаційних паливно-мастильних матеріалів перед заправленням повітряних суден

Контроль якості авіаційних палив і олів перед заправленням ПС є заключним етапом контролю якості цих ПММ в авіапідприємствах і здійснюється з метою забезпечення заправлення ПС потрібними марками кондиційних авіаційних палив та олів, визначення рівня їхнього очищення від механічних домішок та води. Заправлення ПС авіаційними паливами та оливами з домішками води, кристалами льоду та механічними домішками забороняється.

Перед заправленням ПС авіаційними паливами і оливами контроль їхньої якості проводять на складі ПММ (ПММ знаходяться у витратних резервуарах складу або ЦЗС), на стоянці спеціального автотранспорту (ПММ знаходяться у засобах заправлення) та біля ПС.

Залежно від місця проведення контроль якості авіаПММ під час видавання на заправлення ПС буває: початковий, проміжний та завершальний.

Початковий контроль якості

Початковий контроль якості проводиться на складі ПММ черговим фахівцем ПЗК (служби ПММ). До початку видавання авіаПММ із витратного резервуара в засоби заправлення, черговий фахівець ПЗК (служби ПММ) перевіряє:

- наявність паспорта якості на авіаПММ;

– відсутність води, кристалів льоду та механічних домішок у донній пробі, взятій з витратних резервуарів перед початком видачі з них, а також в об'єднаній пробі. Відібрані проби зберігають на складі ПММ протягом 3-х діб після повного витрачання продукту.

У процесі видачі перевірку на відсутність води, кристалів льоду та механічних домішок у донній пробі проводять візуально на початку роботи кожної зміни.

За позитивного висновку контролю чистоти палива або оливи у витратному резервуарі на складі ПММ і наявності паспорта якості черговий фахівець ПЗК (служби ПММ) дає дозвіл на видавання палива або оливи з резервуара складу ПММ у засоби заправки ПС або ЦЗС та робить у порезервуарному передавальному журналі запис: «Вода та механічні домішки відсутні, видачу дозволяю».

На складі ПММ черговий фахівець ПЗК (служби ПММ) також контролює:

– наявність води, кристалів льоду та механічних домішок у пробах з відстійників фільтрів і фільтрів-сепараторів фільтраційних станцій, роздавальних пунктів, пальнозаправника, оливозаправника до видачі авіаПММ у засоби заправки на початку роботи кожної зміни;

– відповідність маркування пальнозаправника, оливозаправника марці авіаПММ, що заливаються.

Під час різких добових перепадів температури (15 °С та більше) або вологості навколишнього середовища 85 % та вище зливання відстою із засобів фільтрації, перевірка вмісту води проводиться не менше трьох разів на зміну.

Проміжний контроль

Проміжний контроль якості авіаційних палив і олив проводиться відповідальною особою на стоянці спеціального автомобільного транспорту в засобах заправки повітряного судна ПС до початку заправки ПС. Обов'язки відповідальної особи:

– перевірити наявність та правильність оформлення контрольного талона;

– встановити відповідність маркування пальнозаправника, оливозаправника марці залитого в них авіаПММ;

– переконатися у відсутності води та механічних домішок у пробі палива, взятого з відстійника ПЗ після прибуття на місце стоянки та відстоювання протягом 15 хвилин – візуально.

Відмітка в контрольному талоні на авіаПММ про відсутність води та механічних домішок у паливі, що знаходиться в ПЗ, дійсна протягом шести годин. Після цього зливають відстій і проводять повторну перевірку з новою відміткою в контрольному талоні.

Під час різких добових перепадів температури (15 °С та більше) або вологості навколишнього середовища 85 % та більше контроль на відсутність води в оливі, що знаходиться в ОЗ, здійснюється не менше трьох разів за зміну. Контрольний талон на авіаПММ, оформлений відповідальною особою, видається водієві пальнозаправника (оливозаправника) і є документом, що дозволяє заправлення ПС.

Завершальний контроль якості

Завершальний контроль якості авіаційних палив та олив організують і виконують фахівець інженерно-авіаційної служби та представник екіпажу ПС за участю відповідальної особи ПЗК (служби ПММ). При цьому перевіряють:

- наявність контрольного талона на авіаПММ та правильність його оформлення;
- наявність механічних домішок та води в пробі авіаПММ із відстійника ПЗ або ОЗ, відстійників фільтрів ЗА (за вимогою екіпажу ПС).

Контрольні питання до розділу 9

1. Які є види та класифікація засобів транспортування нафтопродуктів? Переваги та недоліки.
2. У чому полягає специфіка обладнання та способів зливу нафтопродуктів?
3. Які задачі лабораторії з контролю якості авіаційних пально-мастильних матеріалів? Вхідний, оперативний, арбітражний контроль якості авіаційних пально-мастильних матеріалів?
4. Які є основи метрологічного забезпечення контролю якості? Метрологічне забезпечення контролю якості авіаПММ?
5. Яка є класифікація та зони складу пально-мастильних матеріалів. Генеральний план складу?
6. Які є види та класифікація резервуарів для зберігання різних видів нафтопродуктів?
7. Яке є основне обладнання резервуару?
8. Які є засоби та способи заправки пально-мастильними матеріалами? Пункт наливу пальнозаправника?
9. У чому специфіка очищення палива та завершальний контроль якості нафтопродукту?

РОЗДІЛ 10

ПАЛИВО ДЛЯ НАЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

10.1 Газ

Зріджений вуглеводневий газ

Зріджений вуглеводневий газ (Liquefied Petroleum Gas, LPG) досить широко використовується в промисловості, сільському господарстві, об'єктах комунальної власності та в побуті. Його властивості забезпечують високу енергоефективність, відносну безпеку при використанні, доступну вартість палива.

Вуглеводневі (нафтові) гази отримують під час видобутку та переробки нафти і використовують для різних цілей:

– у побуті – для приготування їжі та підігріву води за допомогою газових колонок та плит, для опалення приміщень за допомогою газових котлів та конвекторів;

– в якості автомобільного палива, що має відмінні показники і нижчу ціну;

– у промисловості і будівництві – для різання металів, зварювання конструкцій;

– у нафтохімічній промисловості – для виробництва розчинників, лакофарбових матеріалів;

– при будівництві доріг.

СПІВВІДНОШЕННЯ ГАЗОПОДІБНОГО ТА РІДКОГО ПРОПАН-БУТАНУ



Рисунок 10.1 – Порівняння властивостей різних видів палива

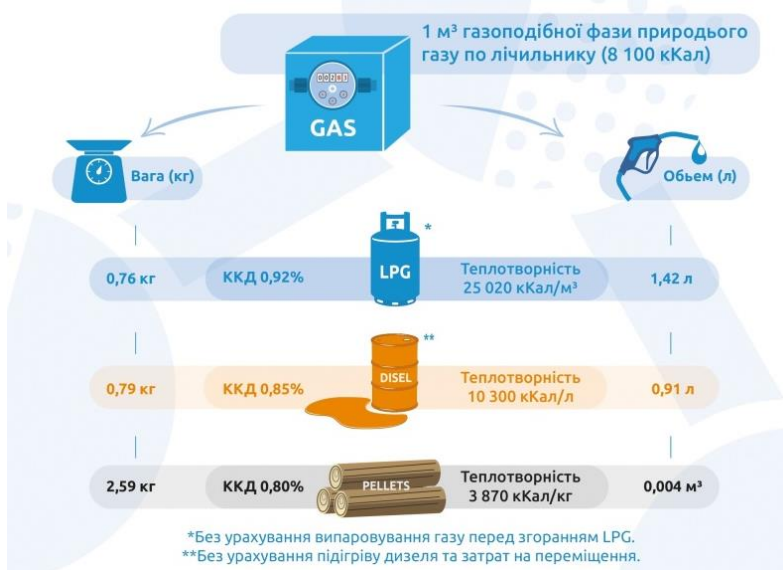


Рисунок 10.2 – Порівняння витрат природного газу та різних видів палива

Завдяки своїм властивостям LPG можуть переходити у рідкий стан при зниженні температури або підвищенні тиску до невисоких значень.

ДСТУ 20448-90 «Гази вуглеводневі паливні»

Зріджені нафтові газу (ЗВГ), відповідно до стандарту ГОСТ 20448-90, можуть бути таких марок:

- ПТ – технічний пропан;
- СПБТ – пропано-бутанова суміш;
- БТ – технічний бутан.

ДСТУ 20448-90 описує фізико-хімічні властивості газів різних марок, допустиму присутність основних компонентів і домішок. Стандарт також містить вимоги до безпеки, адже ЗВГ при потраплянні на шкіру може спричинити обмороження, а при витоку LPG і вдиханні його парів людина може страждати від кисневого голодування і навіть загинути від нестачі кисню. Екологічні вимоги до зберігання і транспортування ЗВГ полягають в забезпеченні герметичності резервуарів і трубопроводів, а також періодичних вимірюваннях змісту вуглеводнів в повітрі у місці розташування ємностей. Умови стандарту

описують застосування різних марок зрідженої газової суміші для застосування в побуті за різних кліматичних умов.

LPG		ПРОПАН-БУТАН (LPG)	
ПЕРЕВАГИ		НЕДОЛІКИ	
<p>1. ЕКОНОМІЧНІСТЬ. У порівнянні з дизельним паливом.</p> <p>2. ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНІСТЬ. Незалежність від природного газу, падіння тиску, лімітів, добового балансування.</p> <p>3. ІНВЕСТИЦІЇ. Вартість системи газопостачання в кілька разів дешевше підключення природного газу або установки твердопаливного обладнання.</p> <p>4. ШВИДКІСТЬ. Газифікація під ключ у стислі терміни.</p> <p>5. ЕКОЛОГІЧНІСТЬ. Не забруднює зерно діоксинами і запахом, в порівнянні з дизелем, пінним паливом, дровами, пелетами.</p> <p>6. КРАДІЖКИ. Відсутність можливості крадіжки палива в порівнянні з дизелем.</p> <p>7. РЕЗЕРВ. Застосування в якості резервного палива на підприємствах, що використовують природний газ.</p> <p>8. ТЕПЛОЕФЕКТИВНІСТЬ. Калорійність пропану в 3 рази вище природного газу, відповідно, нагрів відбувається швидше.</p>		<p>1. Погодження у дозвільних установах.</p> <p>2. Цінові коливання. Ціна на паливо коливається в літній / зимовий період.</p> <p>3. Необхідність в плановому технічному обслуговуванні.</p> <p>4. Необхідність контролю якості палива.</p> <p>5. Жорсткі вимоги до розміщення резервуарів на території.</p> <p>6. Необхідність отримання ліцензії для зберігання палива від ДФС.</p>	

Рисунок 10.3 – Переваги та недоліки використання пропан-бутану (LPG)

GAS		ПРИРОДНИЙ ГАЗ	
ПЕРЕВАГИ		НЕДОЛІКИ	
<p>1. ПРОСТОТА В ЕКСПЛУАТАЦІЇ.</p> <p>2. ЕКОНОМІЧНІСТЬ. Низька вартість газу.</p> <p>3. ЕКОЛОГІЧНІСТЬ. Не забруднює зерно діоксинами і запахом в порівнянні з дизелем, пінним паливом, дровами, пелетами.</p> <p>4. КРАДІЖКИ. Відсутність можливості крадіжки палива.</p> <p>5. ІНФРАСТРУКТУРА. Розвинена мережа газопроводів в більшості регіонів.</p>		<p>1. Монополія поставок і підключення.</p> <p>2. Висока вартість будівництва газопроводу, обмеження діаметрів та пропускної здатності магістральної мережі.</p> <p>3. Тривалий термін будівництва і погодження у дозвільних установах, від 6 міс.</p> <p>4. Велика вартість отримання ТУ на будівництво.</p> <p>5. Низька калорійність 7000-8000 ккал / м3.</p> <p>6. Добове балансування (необхідність добового планування обсягів використання газу, позапланові обсяги продаються за завищеною ціною).</p> <p>7. Витрати на технічне обслуговування, перевірку лічильника.</p> <p>8. Можливо відключення газу або падіння тиску внаслідок аварійних ситуацій і політичних конфліктів.</p> <p>9. Маніпуляція з перевіркою лічильника, судові процеси з компаніями постачальниками природного газу.</p> <p>10. Необґрунтований тариф на розподіл газу, абонплата за транспортування.</p>	

Рисунок 10.4 – Переваги та недоліки використання природного газу

Для заправки автомобілів ДСТУ 27587-87 «Гази вуглеводневі зріджені для автотранспорту» був замінений на ДСТУ EN589 діє до: 2017 «Палива автомобільні, газ нафтовий зріджений», який вступив в силу в 2018 році – в новому документі вимоги до пропану стають більш жорсткими. Особливо враховується відповідність встановленим нормам міститься в суміші частки сірки, відсутність вільної води, зменшення суми ненасичених вуглеводнів. Співвідношення пропану та бутану, відповідно до стандарту, буде вимірюватися тиском насичених парів в суміші.

Компанія «УКРАВТОНОМГАЗ» є постачальником зрідженого газу, що відповідає всім нормам і стандартам, для транспортування використовуються спеціальні ємності і резервуари, що забезпечують високий рівень безпеки. Крім доставки газу, компанія здійснює розробку проектів автономного газопостачання, поставляє необхідне обладнання, виконує роботи по його монтажу, ремонту. На сайті компанії є зручні і прості калькулятори, що дозволяють розрахувати вартість доставки ЗВГ в той чи інший населений пункт, а також кількість газу, необхідне для опалення будинку певного розміру, і порівняти вартість такого опалення з іншими видами палива.

10.2 Рідкі види палива

Відповідно до національно стандарту України, котрий поширюється на автомобільні бензини Євро, які використовують у двигунах колісних транспортних засобів (далі – бензини) та встановлює вимоги до бензинів, які можуть містити до 10% біоетанолу. Цей стандарт відповідає вимогам до бензинів, установленим у Технічному регламенті щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив (далі – Технічний регламент), та придатний для оцінювання відповідності.

Тож, залежно від октанового числа за дослідним методом встановлено такі марки бензинів: А-98, А-95, А-92, А-80.

За рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи бензинів: Євро5, Євро4, Євро3.

За вмістом біоетанолу встановлено такі види бензинів: Е5 – не більше ніж 5 %; Е7 – понад 5 % та не більше ніж 7 %; Е10 – понад 7 % та не більше ніж 10 %.

Умовна позначка бензинів має містити: – позначення марки (А-98, А-95, А-92, А-80); – символ екологічного класу (Євро5, Євро4, Євро3); – символ виду бензину за вмістом біоетанолу (Е5, Е7, Е10).

Приклад позначки бензину марки А-95 екологічного класу Євро4 з вмістом біоетанолу понад 5% та не більше ніж 7%: «Бензин автомобільний А-95-Євро4-Е7 згідно з ДСТУ 7687:2015».

Позначення бензинів може містити торгову марку (товарний знак) виробника. Приклад позначення бензину торгової марки «XXX» марки А-98 екологічного класу Євро5 з вмістом біоетанолу понад 7% та не більше ніж 10%: «Бензин автомобільний XXX-А-98-Євро5-Е10 згідно з ДСТУ 7687:2015».

Клас небезпеки бензинів згідно з ГОСТ 12.1.007:

- у разі інгаляційного впливу – 3 (речовини помірно небезпечні);
- у разі потрапляння в шлунок – 4 (речовини малонебезпечні);
- у разі потрапляння на шкіру – 3 (речовини помірно небезпечні).

Бензини мають слабо виражений кумулятивний та інгаляційний вплив, спричиняють помірне подразнення шкіри (інтенсивністю в 1 бал) та сухість шкіри, подразнюють слизові оболонки; мають слабку резорбтивну здатність.

Повітря робочої зони під час роботи з бензинами контролюють на наявність пари: вуглеводнів аліфатичних насичених (у перерахунку на вуглець) (ГДК 300 мг/м³, IV клас небезпеки), бензину (ГДК 100 мг/м³, IV клас небезпеки), оксиду вуглецю (ГДК 20 мг/м³, IV клас небезпеки), етилового спирту (ГДК 1000 мг/м³, IV клас небезпеки), ГДК та клас небезпеки яких наведено згідно з ГОСТ 12.1.005.

Згідно з ГОСТ 12.1.044 бензини – це горючі, легкозаймисті особливо небезпечні рідини. Температура самозаймання бензинів від 225 °С до 370 °С, температура спалаху у відкритому тиглі від -27 °С до -39 °С, концентраційні границі поширення полум'я від 0,76 % (об.) до 5,16 % (об.), температурні межі займання: нижня – від -27 °С до -39 °С, верхня – від -8 °С до -27 °С, концентраційні границі вибуховості у суміші з повітрям від 1 % (об.) до 6 % (об.).

У разі аварійного розливання бензинів місце розливання засипають піском, збирають, а потім вивозять у відвал відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.7.029.

У разі потрапляння бензину на шкіру його необхідно зняти ганчіркою, забруднене місце змити теплою водою з милом чи іншим мийним засобом згідно з ГОСТ 12.4.068. У разі потрапляння на слизові оболонки очей – негайно промити їх великою кількістю теплої води та звернутися до медичного закладу.

Під час роботи з бензинами треба застосовувати засоби індивідуального захисту згідно з ДСТУ 7239, НПАОП 0.00-4.01 і типовими галузевими нормами: костюми – згідно з ГОСТ 12.4.111 або ГОСТ 12.4.112, шкіряні черевики – згідно з ДСТУ 3962 (ГОСТ 12.4.137),

комбіновані рукавиці – згідно з ГОСТ 12.4.010, захисні окуляри типу ЗН – згідно з ГОСТ 12.4.013, засоби захисту органів дихання (у випадку перевищення ГДК) – згідно з ДСТУ EN 14387, ДСТУ EN 143, ДСТУ EN 133 або іншими чинними нормативними документами.

Виробничі приміщення, у яких працюють з бензинами, потрібно обладнати припливно-витяжною вентиляцією згідно з ДБН В.2.5-67, ДСТУ Б А.3.2-12 (місця можливого виділення небезпечних речовин має бути обладнано місцевою (локальною) та аварійною вентиляцією), водопровідною системою та каналізацією – згідно з ДБН В.2.5-64, штучним освітленням – згідно з ДБН В.2.5-28, опаленням – згідно з ДБН В.2.5-67, питною водою – згідно з ДСанПіН 2.2.4-171. Параметри мікроклімату виробничих приміщень мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042. Рівень шуму у виробничих приміщеннях не повинен перевищувати граничних значень, встановлених ГОСТ 12.1.003 і ДСН 3.3.6.037; методи вимірювання шуму – згідно з ГОСТ 12.1.050. Рівень вібрації не повинен перевищувати граничних значень, регламентованих ДСТУ ГОСТ 12.1.012 і ДСН 3.3.6.039.

Виробничі та складські приміщення обладнують системами протипожежного захисту згідно з ДБН В.2.5-56, блискавкозахистом – згідно з ДСТУ Б В.2.5-38.

Загальні вимоги щодо пожежної безпеки – згідно з ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010, Правилами пожежної безпеки в Україні.

Зони приміщень, у яких виконують роботи з бензинами, згідно з НПАОП 40.1-1.32, належать до вибухонебезпечних зон класу 2, категорія приміщень згідно з НАПБ Б.03.002 – А (вибухопожежонебезпечні). Під час роботи в цих приміщеннях треба виконувати вимоги згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні.

Перед входом у приміщення треба вивішувати попереджувальні знаки безпеки згідно з ГОСТ 12.4.026 та ДСТУ ISO 6309.

У приміщеннях для зберігання бензинів не можна зберігати кислоти, балони з киснем та інші окисники.

Усе технологічне обладнання і комунікації для транспортування бензинів потрібно захищати від статичної електрики засобами захисту згідно з ГОСТ 12.4.124; одночасно треба виконувати вимоги згідно з ДСТУ 7237, ДСТУ 7238, ГОСТ 12.1.018 та ГОСТ 12.1.030.

Приміщення, у яких працюють з бензинами, треба оснащувати первинними засобами пожегогасіння відповідно до вимог Правил пожежної безпеки в Україні, НАПБ Б.03.001.

Для гасіння пожеж на початкових стадіях застосовують первинні засоби пожегогасіння, а саме: пісок, переносні або пересувні вогнегасники згідно з ДСТУ 3675 і ДСТУ 3734. Кількість і тип

вогнегасників у приміщенні визначають відповідно до вимог НАПБ Б.03.001, їх експлуатування і технічне обслуговування – згідно з НАПБ Б.01.008 та ДСТУ 4297.

У приміщеннях, де працюють з бензинами, заборонено працювати з відкритим вогнем. Штучне освітлення, електрокомунікації, електричне обладнання та електричне устаткування має бути виготовлено у вибухобезпечному виконанні згідно з НПАОП 40.1-1.32 та влаштовано згідно з вимогами ПУЕ [32]. Під час роботи з бензинами не дозволено використання інструменту, що під час удару утворює іскри.

Для всіх вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщень треба розробляти загальнооб'єктну інструкцію щодо заходів пожежної безпеки відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні.

Щоб запобігти забрудненню повітря виробничих приміщень, необхідно забезпечити герметичність місткостей, обладнання, комунікацій та засобів відбирання проб згідно з ГОСТ 12.3.002, ГОСТ 12.2.003, ДСТУ ГОСТ 12.2.061, СП 1042, ДСТУ 4488 [33].

Працівників забезпечують побутовими приміщеннями згідно з ДБН В.2.2-28.

Персонал, що працює з бензинами, має проходити спеціальне навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму згідно з вимогами НАПБ Б.02.005. Порядок організації навчання визначають згідно з НАПБ Б.06.001. Організація інструктажів з пожежної безпеки та охорони праці, а також порядок перевірки знань з цих питань мають відповідати вимогам НПАОП 0.00-4.12. Розробку інструкцій з пожежної безпеки та охорони праці має проводити відповідальна особа або служба охорони праці підприємства згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.21 та НПАОП 0.00-4.15.

Персонал, що займається класифікацією, пакуванням, маркуванням бензинів, оформленням транспортних документів, відправленням, перевезенням або прийманням бензинів, проведенням вантажних та інших операцій, пов'язаних з перевезенням небезпечних вантажів, має додатково проходити спеціальне навчання згідно з Порядком проведення спеціального навчання працівників суб'єктів перевезення небезпечних вантажів [34].

Персонал, що працює з бензинами, має проходити попередні (під час прийняття на роботу) і періодичні (протягом трудової діяльності) медичні огляди згідно з Порядком проведення медичних оглядів працівників певних категорій [35].

Вимоги щодо охорони довкілля, утилізування

Основними засобами захисту довкілля від шкідливої дії бензинів є герметизація обладнання і запобігання розливанню бензинів. Витоки бензину в разі аварійних розливів необхідно терміново усунути.

Для підтримання екологічної безпеки всіх операцій із бензинами технічний стан і відповідність вимогам безаварійного експлуатування місткостей для зберігання і транспортування бензинів, трубопроводів і арматури та обладнання для роботи з ними потрібно в обов'язковому порядку регулярно за встановленим порядком перевіряти і контролювати, а виявлені несправності та недоліки оперативно ліквідувати.

Під час зберігання і використання бензинів виконують заходи, що унеможливають потрапляння його в системи побутової та стічної каналізації, а також у відкриті водоймища. Гранично допустима концентрація бензину у воді об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування становить 0,1 мг/л згідно з СанПиН 4630.

Охорона атмосферного повітря від викидів шкідливих речовин має відповідати вимогам ГОСТ 17.2.3.02 та чинних нормативно-правових актів у сфері охорони атмосферного повітря.

Охорона ґрунту від забруднення промисловими та побутовими відходами має відповідати вимогам Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць.

Утилізацію бензинів, у яких закінчився гарантійний термін зберігання і які після перевіряння на відповідність цьому стандарту мають незадовільні результати, проводять відповідно до вимог нормативно-правових актів, якими регулюють та регламентують процес поводження з відходами в Україні.

Маркування та пакування

Маркування бензинів проводять згідно з ДСТУ 4454. Попереджувальне маркування – згідно з ДСТУ ГОСТ 31340. Транспортне маркування проводять згідно з ГОСТ 14192 з нанесенням маніпуляційних знаків «Берегти від нагрівання», «Герметичне пакування» та напису «Вогнебезпечно» згідно з ДСТУ 4454. Маркування, що характеризує транспортну небезпеку бензину, виконують згідно з ДСТУ 4500-5 та Правилами перевезення небезпечних вантажів, чинними для кожного виду транспорту. На вантажну одиницю наносять такі елементи маркування: знак небезпеки – рисунки Б.3.1 або Б.3.2 згідно з ДСТУ 4500-5, номер ООН - UN 1203; транспортну назву – «Бензин», класифікаційний шифр – 3012 згідно з ДСТУ 4500-3, попереджувальний напис «Легкозаймиста рідина». На

транспортні засоби, якими перевозять бензини, наносять такі елементи маркування: знак-табло небезпеки (рисунки Б.3.1 або Б.3.2 згідно з ДСТУ 4500-5); інформаційні таблички оранжевого кольору, на яких вказано номер ООН – UN 1203 та ідентифікаційний номер небезпеки – 33; номер аварійної картки – 305 у разі перевезення бензинів залізничним транспортним засобом. 7.1.3 Національний знак відповідності застосовують для підтвердження відповідності бензинів вимогам Технічного регламенту. Зображення національного знака відповідності має відповідати Опису національного знака відповідності. У разі проведення оцінки відповідності призначеним органом з оцінки відповідності до національного знака відповідності додають його ідентифікаційний код.

Пакування бензинів виконують згідно з ДСТУ 4454. Для пакування використовують тару й транспортні засоби: металеві бочки місткістю 200 дм³ із вузькою горловиною або каністри сталеві згідно з чинними нормативними документами, автоцистерни, залізничні цистерни, наливні судна.

Контрольні питання до розділу 10

1. Охарактеризуйте властивості газу.
2. Які є види рідкого палива?
3. Яка особливість маркування рідкого палива та газу?
4. Які є переваги та недоліки використання природного газу?
5. Які види палива використовують наземні транспортні засоби?

РОЗДІЛ 11 ЕЛЕКТРИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

11.1 Світові перспективи використання накопичувачів електричної енергії на транспорті

В даний час відомі різні види накопичувачів електроенергії, з притаманними їм перевагами і недоліками. Найбільш широке поширення в світі отримали електрохімічні накопичувачі, що виконуються на основі літій-іонних акумуляторів і їх модифікацій. Рівень напруги до 1000 В, що застосовується в вітчизняних та зарубіжних системах тягового електропостачання міського і в ряді випадків приміського транспорту, дозволяє зняти проблеми щодо приєднання накопичувачів і використовувати їх без спеціальних перетворювачів напруги.

На сьогоднішній день накопичувачі електроенергії знайшли застосування в системах тягового електропостачання міського і приміського рейкового транспорту США, країнах Євросоюзу, Японії та ін. Не є винятком і Україна, де накопичувачі електроенергії знайшли своє застосування в системі тягового електропостачання метрополітену і міського транспорту. Енергоємність застосовуваних на транспорті систем накопичення, як правило, не перевищує 1000 кВт·год і визначається характеристиками тягового навантаження і вирішуваних завдань.

В якості основних завдань, що вирішуються накопичувачами електроенергії на транспорті, виділяють наступні: забезпечення необхідного рівня напруги при аварійному або технологічному відключенні; стабілізація рівня напруги в місці приєднання; підвищення ефективності застосування рекуперативного гальмування; підвищення енергетичної ефективності перевезень.

11.2 Акумулятори

Акумуляторні батареї – накопичують електроенергію для використання. Також вони вирівнюють та стабілізують вихідну напругу з генератора. Живлення об'єкта йде від акумуляторних батарей.

Акумуляторні батареї використовуються як накопичувачі енергії в системах безперебійного живлення. Також застосовуються для запуску тролінгових або стартових човнових електромоторів, автомобільних стартерів і бензинових човнових двигунів.

Акумуляторні батареї можуть відрізнятися не тільки ціною, але й основними параметрами.

Різниця акумуляторів за основними параметрами:

- максимальний термін експлуатації;
- ємність акумулятора;
- кількість циклів перезарядки;
- параметри саморозрядки;
- габаритні розміри;
- робочий температурний діапазон;
- можливість прискореної зарядки;
- максимальний термін зберігання.

Акумуляторні батареї можуть бути виконані у вигляді одного або декількох послідовно з'єднаних між собою, в одному корпусі елементів. Електроліт, що знаходиться в акумуляторі може бути як у рідкому стані, так і в гелеподібному. У звичайних свинцево-кислотних акумуляторах електроліт знаходиться в рідкому стані і акумулятору необхідне обслуговування, заміна електроліту і доливання води. У гелевих необслуговуваних акумуляторах електроліт згущений до стану гелю. Дані акумулятори зручні в експлуатації, не потребують обслуговування і встановлюються в будь-якому положенні.

Типи акумуляторних батарей.

До найбільш вживаних ставляться такі типи акумуляторів:

- нікель-кадмієві (Ni-Cd);
- нікель-металогідридні (Ni-MH);
- літій-іонні (Li-Ion);
- герметичні свинцево-кислотні (SLA);
- літій-полімерні (Li-Pol).

Акумулятори виконуються як у вигляді одного елемента, так і декількох, послідовно ввімкнених і розміщених в одному корпусі елементів – батареї. Деякі моделі акумуляторів включають в себе електронні елементи управління, що забезпечують контроль режиму заряду і захист акумулятора від неправильної експлуатації.

Зазвичай, кожен виробник використовує оригінальну технологію виробництва, і, відповідно, свої власні розробки по конструкції тих чи інших моделей. Однак можна виділити кілька загальних підходів до конструкції різних типів акумуляторів.

Наприклад, свинцево-кислотний акумулятор складається, як правило, з двох пластин (електродів), поміщених в електроліт (водний розчин сірчаної кислоти).

У нікель-кадмієвого елемента негативні і позитивні пластини скатані разом і поміщені в металевий циліндр. Позитивна пластина складається з гідроксиду нікелю, а негативна – з гідроксиду кадмію. Дві пластини ізольовані роздільником, який зволожений електролітом.

Нікель-металогідридний акумулятор конструктивно схожий на нікель-кадмієвий акумулятор, але має інший хімічний склад електроліту і електродів. У літєво-іонному акумуляторі електроди й сепаратор (роздільник) поміщені в електроліт з літєвої солі. Ємність, що виражається в ампер-годинах (А·год., МА·год.) або ват-годинах (Вт·год.) – це кількість енергії, яку батарея може віддати в навантаження за одну годину. На практиці ємність батареї зазвичай вимірюється аналізатором акумуляторних батарей. Наприклад, акумуляторна батарея номінальною ємністю 1200 МА·год. віддає в навантаження струм 1200 МА протягом однієї години.

Літій-іонні (Li-Ion) акумуляторні батареї.

Виробництво літій-іонних акумуляторних батарей почалося на початку 90-х років. На сьогоднішній день найбільшим постачальником цього типу батареї є компанія Sony. Головна перевага літій-іонних акумуляторів полягає у високій питомій ємності Li-Ion, що принаймні, в два рази більша, ніж у Ni-Cd акумулятора.

Літій – дуже легкий метал, має найбільший електрохімічний потенціал і забезпечує найбільший вміст енергії. Крім того, Li-Ion має відносно низький саморозряд і в ньому повністю відсутній «ефект пам'яті», завдяки чому час від часу можна дозаряджати і не зовсім розряджений акумулятор. Кількість циклів «заряду-розряду» за даними більшості виробників (так як у кожного виробника свої технології і відповідно кількість циклів дещо відрізняється) трохи більше, ніж у Ni-MH акумулятора.

Основний недолік літій-іонних (Li-Ion) батарей висока вартість і малий діапазон робочих температур, хоча це і не завжди є критичним фактором.

У конструкції сучасних літій-іонних (Li-Ion) акумуляторів присутні так звані smart-мікросхеми. Це дозволяє керувати зарядним пристроєм таким чином, щоб процес зарядки був максимально ефективним залежно від кількості пропрацьованих циклів «заряду-розряду».

Літій-полімерні акумуляторні батареї (Li-polymer).

Концепція батареї літій-полімеру заснована на використанні твердого електроліту на полімерній основі. Ця ідея передбачає технологічність у виробництві, і відповідно низьку ціну. Щільність

енергії цього типу батарей ще більша, приблизно в три рази вища, ніж у нікель-кадмієвого акумулятора, а саморозряд значно менший.

Використання твердого електроліту дозволяє довести розміри елементів акумулятора до 1 мм по товщині. Так як дана конструкція не містить рідкого електроліту і реалізується набором різних плівок, то можна отримувати дуже гнучкі конструктивні форми. Акумулятор такого типу має дуже малу товщину, що дозволяє надавати йому необхідну форму.

Недолік літій-полімерного акумулятора в тому, що він не може віддавати великі струми розряду і, також, як і літій-іонний (Li-Ion), чутливий до низьких температур.

Свинцево-кислотні (LEAD ACID) акумуляторні батареї.

На відміну від інших типів акумуляторних батарей свинцево-кислотна батарея зазвичай використовується, коли потрібна велика ємність, вимоги до ваги не критичні і вартість батареї повинна бути низькою.

Переваги герметичних свинцево-кислотних (SLA) акумуляторних батарей:

- відносно невисока вартість;
- повна відсутність "ефекту пам'яті";
- низький саморозряд;
- в сучасних герметичних свинцево-кислотних акумуляторах, залежно від середньої глибини розрядки, кількість циклів може досягати 800-1000.

Недоліки SLA-батарей:

- акумуляторні батареї SLA мають найнижчу питому ємність, хоча в багатьох випадках це може бути і не критичним;
- на відміну від Ni-Cd SLA вразливі до глибоких циклів розряду (це безпосередньо призводить до скорочення кількості циклів «заряд-розряд»).

На залізничному транспорті електрохімічні акумулятори та складені з них акумуляторні батареї є основним автономним джерелом електроенергії для запуску всіх типів двигунів, живлення кіл управління і резервного живлення будь-яких електроспоживачів.

Як і в інших галузях промисловості, на залізничному транспорті використовуються акумулятори трьох типів (класів): швидкого (H), середнього (M) і тривалого (L) розряду.

Акумулятори швидкого розряду застосовуються як стартерні – для запуску двигунів внутрішнього згоряння тепловозів, рефрижераторних секцій, дизель-поїздів і стаціонарних енергоагрегатів.

Акумулятори класу «М» широко використовуються як основне джерело електроживлення в пасажирських вагонах і рефрижераторних секціях при низьких швидкостях руху і на стоянках.

Третій клас акумуляторних батарей (L) застосовується як резервне джерело в агрегатах безперебійного живлення при основній мережі змінного струму або в буфері з основним електроджерелом постійного струму в пристроях сигналізації, централізації і блокування (СЦБ) та зв'язку, а також у допоміжних низьковольтних колах електропідстанцій та інших стаціонарних установок залізничного транспорту. Поки працює основне джерело енергії, батарея знаходиться в режимі підзарядки, а при виході з ладу або тимчасовому відключенні джерела використовується для живлення важливих електроспоживачів.

Всі акумулятори та батареї, в тому числі й ті, що застосовуються на залізничному транспорті, поділяються за типом використаної електрохімічної системи, як правило, лужної або кислотної.

Вибір системи залежить від того, на якому об'єкті застосовується акумулятор і який клас розряду потрібно в даному випадку.

Так, потужні кислотні акумулятори найкраще використовувати в якості стартерних. Як тягові акумулятори (середнього класу розряду) краще застосовувати лужні, зокрема нікель-кадмієві батареї. Вони більш надійні при низьких температурах і мають більший строк служби. При цьому свинцево-кислотні акумулятори тих же габаритів і потужності відрізняються значно меншою вартістю.

Проблемою є те, що робоча ємність всіх основних типів і класів акумуляторів і зібраних з них батарей при низьких зовнішніх температурах значно зменшується. Це призводить до необхідності доливання дистильованої води в жарку пору року і періодичному проведенню відновлювальних зарядних циклів, що потребують зняття батарей із рухомого складу, що збільшує експлуатаційні витрати.

Крім цього, хронічний недозаряд акумуляторів при мінусових температурах призводить до незворотної втрати робочої ємності і швидкого виходу акумуляторів з ладу через пасивацію активних мас електродів у лужних батареї і сульфатацію – у кислотних.

Посилює проблему те, що всі типи акумуляторів, які використовуються на залізниці, створені для інших галузей промисловості, де система і сам процес заряду відрізняються від умов роботи на залізничному транспорті, особливо на рухомому складі.

Ще більші труднощі виникають при спробах використання на залізничному транспорті більш перспективних акумуляторів закритого типу. Герметизовані батареї кількох зарубіжних акумуляторних фірм були випробувані на рухомому складі та на деяких стаціонарних

установках залізничного транспорту. Надійно необслуговувані акумулятори працювали тільки як резервні джерела живлення. При роботі ж на рухомому складі, особливо в пасажирських вагонах, герметичні акумулятори або повністю виходили з ладу, або за півроку втрачали більше половини потужності.

Найгірше показали себе акумулятори з гелієвим електролітом, які не розраховані на швидкий і постійно повторюваний заряд і розряд. До того ж їх реальна ємність при мінусових зовнішніх температурах невисока.

Існує й інший тип герметичних акумуляторних батарей (в основному свинцевих). У них за рахунок використання сепараторів типу AGM забезпечується рекомбінація газових носіїв (водню і кисню), що виділяються при заряді будь-яких акумуляторів, і зменшується газовиділення за рахунок використання свинцево кальцієвих сплавів в електродах.

Як показують дослідження, такий тип акумуляторів з рекомбінацією газових носіїв при плюсових температурах (до +40 °С) має здатність стійко працювати в умовах зарядно-розрядних циклів, але має дуже низьку реальну ємність при низьких температурах. Це означає, що і цей тип акумуляторів непридатний для використання на залізничному транспорті в українському кліматі.

11.3 Суперконденсатори

Суперконденсатори (ультраконденсатори, іоністори) – це джерела енергії постійного струму.

Вони повинні підключатися до мережі за допомогою статичного пристрою забезпечення якості електроенергії, який видає енергію з частотою мережі.

Велика величина ємності досягається за рахунок дуже малої відстані між обкладаннями (декілька ангстремів) і великої площі поверхні провідника (наприклад, активованого вуглецю), яка досягає 1500 – 2000 м²/г. Тому величина енергії, що накопичується, в таких конденсаторах може досягати всього 50-60 Дж/г.

Недоліки іоністорів:

- висока ціна іоністорів з великими розрядними струмами, що перешкоджає їх широкому застосуванню;
- напруга безпосередньо залежить від ступеня заряду;
- можливість вигорання внутрішніх контактів при короткому замиканні для іоністорів великої ємності і з низьким внутрішнім опором;

– низька робоча напруга порівняно з більшістю конденсаторів інших типів;

– значно більший, порівняно з акумуляторами, саморозряд: близько 1 мкА у іоністора $2 \Phi \times 2,5 \text{ В}$;

– істотно менша швидкість віддачі заряду навіть в порівнянні із звичайними конденсаторами.

Переваги іоністорів:

– великі максимальні струми зарядки і розрядки;

– мала деградація навіть після сотень тисяч циклів заряд-розряд.

Дослідження за визначенням максимального числа циклів заряд-розряд показали, що після 100 000 циклів не спостерігалось погіршення характеристик;

– високий внутрішній опір у більшості іоністорів (перешкоджає швидкому саморозряду, а також перегріву і руйнуванню);

– іоністор має тривалий термін служби ($0.6 U_{\text{ном}}$ близько 40000 годин з незначним зниженням ємності);

– низька токсичність матеріалів (окрім органічних електролітів;

– неполярність (хоча на іоністорах вказані «+» і «-», це робиться для позначення полярності залишкової напруги після його зарядки на заводі-виробнику);

– мала залежність від навколишньої температури: можуть працювати як на морозі, так і на жарі;

– велика механічна міцність: виносять багатократні перевантаження.

Функціональне призначення суперконденсаторів [10].

1. При провалах напруги або відключення основного джерела струму суперконденсатори служать надійними резервними джерелами струму для штатного завершення роботи обладнання, підтримання роботи системи, для збереження, передачі або видалення даних; для управління клапанами, засувками, заслінками, поворотними системами.

2. Суперконденсатори застосовуються в якості моста при перемиканні джерел, що живлять апаратуру.

3. Суперконденсатори використовуються в якості тимчасового буферу для накопичення електричної енергії.

4. Суперконденсатори служать потужним імпульсним джерелом струму.

5. Суперконденсатори застосовуються спільно з хімічними джерелами струму для підвищення потужності, ефективності використання акумуляторів, захисту їх від великих розрядних струмів.

6. Суперконденсатори використовуються в якості резервного або основного джерела струму для важкодоступною, віддаленої апаратури,

в системах одноразового застосування .

Застосування спільно з хімічними джерелами струму. Переваги спільного використання хімічних джерел струму та суперконденсаторів:

- суперконденсатори здатні зарядитися від розрядженого джерела і забезпечити необхідний рівень виданої потужності;
- суперконденсатори збільшують термін служби хімічних джерел, захищають їх від великих струмів розрядки, роблять режим експлуатації більш м'яким;
- суперконденсатори дозволяють економити простір і масу в апаратурі з метою забезпечення необхідного рівня потужності: хімічне джерело замінюється на джерело меншого розміру із додаванням суперконденсатора;
- при несправності хімічного джерела енергії суперконденсатора достатньо для коректного завершення роботи обладнання і збереження даних, при короткочасних провалах напруги на джерелі суперконденсатори здатні підтримати роботу апаратури.

Батарея суперконденсаторів служить для накопичення електроенергії в обсязі, достатньому для забезпечення режиму рушання й розгону транспортного засобу при зниженій до забезпечення рівня рівномірного руху потужності рушійного пристрою, а також для рекуперації кінетичної енергії руху транспортного засобу в електричну мережу при його гальмуванні.

Випрямляч змінного струму (AC-DC) і перетворювач постійного струму в змінний (DC-AC) служать для забезпечення робочого режиму функціонування батареї суперконденсаторів серед агрегатів, що працюють на змінному струмі. Особливістю роботи цих пристроїв є широкий діапазон напруг і частот при використанні змінного струму.

Пристрій заряду служить для забезпечення накопичення енергії в батареї суперконденсаторів в умовах безперервного зниження напруги, джерела заряду, що характерно для здійснення рекуперації енергії в режимі гальмування транспортного засобу.

Пристрій розряду служить для оптимізації процесу віддачі енергії при розряді батареї суперконденсаторів шляхом узгодження нестационарних навантажень.

Система управління діагностики та контролю забезпечує функціонування системи накопичення енергії в автоматичному режимі на основі оперативного аналізу інформації про поточні значення параметрів пристроїв системи накопичення енергії шляхом формування керуючих впливів за заданими алгоритмами.

Надпровідний індуктивний накопичувач (НПН)

При циркуляції постійного струму в замкнутій котушці з надпровідного провідника створюється магнітне поле. Струм, який протікає через котушку, може перериватися за допомогою безконтактного комутатора. Завдяки високій індуктивності котушки при розмиканні ключа вона стає джерелом струму і може жити перетворювач, який вироблятиме напругу певного рівня. При відповідній модуляції безконтактного комутатора на перетворювачі підтримуватиметься напруга в межах заданого діапазону, яку потім буде перетворено з постійної в змінну. Системи НПН мають високу потужність, вони зазвичай використовуються впродовж короткого часу, наприклад, при перемиканні джерел енергопостачання.

Контрольні питання до розділу 11

1. Опишіть перспективи збільшення використання електричної енергії, як основного енергетичного ресурсу транспортних засобів у світі.
2. Опишіть перспективи збільшення використання електричної енергії, як основного енергетичного ресурсу транспортних засобів в Україні.
3. Який принцип функціонування акумуляторів?
4. Який принцип функціонування суперконденсаторів?
5. Який принцип роботи надпровідних індуктивних накопичувачів?

РОЗДІЛ 12

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

12.1 Функціональні елементи транспортних засобів з використанням комплексних енергетичних ресурсів

Розглянемо елементи функціональні елементи транспортних засобів з використанням комплексних енергетичних ресурсів на прикладі автосамоскида БелАЗ-75131 який широко застосовується в промисловості.

Автосамоскид БелАЗ-75131 широко застосовується в кар'єрах так як вантажопідйомність та габарити цього самоскиду є оптимальними для кар'єрних доріг. Дана установка являє собою позашляховий самоскид, оснащений дизельним двигуном. Самоскид приводиться в рух за допомогою великого дизельного двигуна, з'єднаного з генератором і системою тягового приводу змінного струму. Самоскид оснащений шістьма колесами. Два передніх колеса є керованими і неприводними. Чотири задніх колеса згруповані попарно і є приводними. Кожна пара коліс приводиться в рух за допомогою асинхронного електродвигуна змінного струму і редуктора. Окремі інвертори забезпечують незалежне управління кожним заднім колісним двигуном, що необхідно через надзвичайно велику різницю в числі обертів коліс при повороті на невеликій швидкості. Самоскид оснащений кузовом великого об'єму, який перекидається назад [13].

До складу самоскида входять (рисунок 12.1):

1. Чотиритактний дизельний двигун (2) з газотурбінним наддувом і проміжним охолодженням надувочного повітря, який перетворює теплову енергію згоряння палива у циліндрах в механічну. Система очищення повітря – через триступінчаті фільтри з елементами сухого типу. Випуск відпрацьованих газів здійснюється через один вихлопний колектор в платформу з правого боку. Система мастила – циркуляційна, під тиском, з «мокрим» піддоном. Система охолодження – рідинна, з примусовою циркуляцією. Система пуску – пневмостартерна.

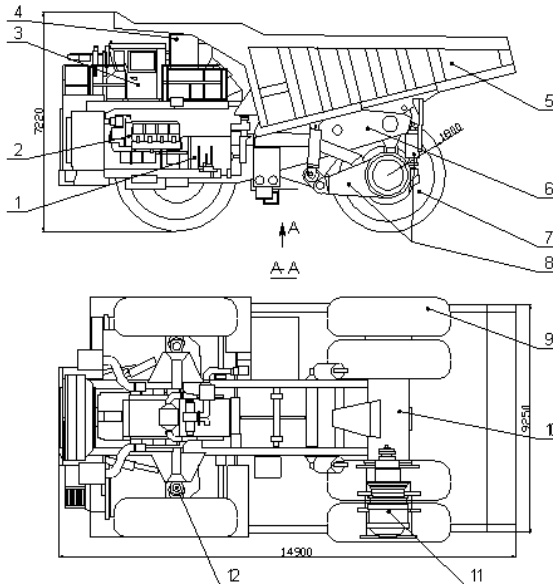


Рисунок 12.1 – Зовнішній вид самоскиду БелАЗ-75131

2. Тяговий генератор (1) є джерелом електроенергії для живлення тягових електродвигунів. Він жорстко закріплений з дизелем і встановлений на підмоторну раму. Ротор генератора з'єднаний з колінчастим валом через пружну пластиночну муфту.

3. Тягові електродвигуни (11), разом з корпусом колісного редуктора встановлені на балці заднього моста (10), перетворюють електроенергію, отриману від генератора, в механічну, і через колісні редуктори передають її на привідні колеса (9). Вал якоря електродвигуна одним кінцем з'єднаний з торсіонним валом провідної шестірні редуктора мотор-колеса, а до другого кінця (з боку колектора) кріпиться барабан гальмівного механізму гальмівної системи.

4. Електрошафа (4) містить апаратуру управління і регулювання.

5. Кабіна самоскида (3) закріплена на шасі самоскида через гумові віброізолятори і обладнана підресореними сидінням водія і сидінням стажера, обігрівачем кабіни з фільтром для очищення повітря, вентилятором, склоочисником і склоомивача вітрового скла, дзеркалами заднього виду і т.д. Кабіна повністю відповідає вимогам стандартів, що встановлюють рівні шуму, вібрації, концентрації шкідливих речовин і запиленості повітря, що забезпечує комфорт водія і знижує його стомлюваність.

6. Платформа (5), ковшового типу з захисним козирком над кабіною і обігрівом відпрацьованими газами двигуна, призначена для перевезення скельних порід вугілля та інших матеріалів. Конструкція платформи надійно захищає кабіну, відсік двигуна та шини від пошкодження падаючими матеріалами. Геометрія платформи, кут її перекидання і обігрів захищають від небезпеки зависання матеріалу при розвантаженні.

7. Рама (6) сприймає ударне навантаження, зусилля на скручування і злам, крім того, вона є несучим елементом для всіх вузлів і агрегатів самоскида.

8. Пружний зв'язок рами з мостами і колесами самоскида здійснює проста по конструкції і надійна в експлуатації підвіска (8,12). Підвіска пом'якшує поштовхи і удари при русі по нерівностях дороги і забезпечує високу плавність ходу.

9. Бездисккові колеса (9) надійно передають зусилля і моменти між мостами автомобіля і дорогою. Пневматичні шини з кар'єрним рисунком підвищують зчеплення колеса з дорогою, зменшують шум при русі і знижують питоме навантаження на поверхню дороги.

Кар'єрний самоскид БелАЗ-75131 призначений для транспортування гірської маси в розпушеному стані з технологічних доріг на відкритих розробках корисних копалин з різними кліматичними умовами. Можуть використовуватися на будівництві великих промислових і гідротехнічних споруд, при спорудженні дорожномагістральних комплексів, а також в технологічних підрозділах підприємств переробної промисловості. Залежно від питомої ваги вантажу, що перевозиться найбільша ефективність досягається при експлуатації з навантажувачами з ковшами об'ємом: 12-20 м³.

У конструкції кар'єрних самоскидів серії БелАЗ-7513 застосовано нові конструкторські і технічні рішення у ряді розроблених вузлів, силових елементів і систем. В тому числі виробництвом серійно випускаються модифікації самоскидів БелАЗ-7513, БелАЗ-75131 з трансмісією змінного струму на основі використання модульних електронних блоків перетворення пускорегулюючої системи, електронною системою контролю і діагностики роботи систем. Основними перевагами використання електромеханічної трансмісії змінного струму є:

- поліпшення тягово-динамічних показників самоскидів;
- збільшення швидкості руху як на рівних ділянках, так і на схилах;

– розширення діапазону роботи в режимі динамічного гальмування, яке без обмеження в часі може застосовуватися практично до нульових швидкостей;

– програмне забезпечення системи управління приводом забезпечує незалежне керування мотор-колесами, забезпечує захист від пробуксовування і юзу, покращене рушання з місця при русі в гору, тим самим, покращуючи ходові якості самоскида і знижуючи знос шин; програмне забезпечення спрощує обробку експлуатаційних параметрів самоскида і забезпечує їх графічне представлення в реальному часі.

Крім цього, для підвищення надійності самоскидів посилено раму, впроваджено більш досконалий аксіально-поршневий насос гідравлічної системи, впроваджена система електронного управління тяговим електроприводом, що дозволяє скоротити час на технічне обслуговування (ТО) і технічний ремонт (ТР). За рахунок зміщення кабіни і шафи електротрансмісії, удосконалення конструкції оперення і зміни установки задніх коліс зменшена ширина самоскида.

Передбачено комплектацію самоскида наступними вузлами та системами:

– ефективними дизельними двигунами з електронною системою управління вприскуванням палива потужністю 1194 кВт (+1624 к.с.) з центральною крильчаткою, більш досконалою системою охолодження і очищення повітря;

– трансмісією змінно-постійного струму з мікропроцесорною системою управління і приладами контролю;

– комфортабельною двомісною кабіною нового покоління, що відповідає всім вимогам міжнародних стандартів з системою безпеки «ROPS»;

– пневмо-гідравлічною підвіскою з новим напрямним апаратом, що забезпечує проектний ресурс експлуатації та високий комфорт роботи водія;

– комбінованою системою пожежогасіння з дистанційним управлінням;

– автоматичною системою змащення;

– системою контролю завантаження і палива;

– телеметричною системою контролю тиску в шинах;

– системою діагностики;

– кондиціонером;

– конструкція рами, оперення, кузова спроектована на повний проектний ресурс машини [15].

Технічні характеристики кар'єрного самоскида БелАЗ-75131 представлені в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 – Технічні характеристики кар'єрного самоскида БелАЗ-75131

Вантажопідйомність, кг	136000
Двигун	КТА 50-С
Потужність, кВт (л.с.)	1194 (1624)
Крутний момент, Н·м/об/хв	6292 / 1500
Питома витрата палива при номінальній потужності, г/кВт·год	207,2
Шини	33.00-51; 33.00R51
Трансмісія	змінно-постійного струму
Тяговий генератор	
	ГСТ-800 / ГСН 500; ГСТ-1
Потужність, кВт	800 / 800
Тяговий електродвигун	
	ТАД-5 / ЄДП-600; ЄК-590
Потужність, кВт	610 / 600; 590
Редуктор мотор-коліс	планетарний дворядний
Підвіска	залежна для передньої осі і ведучого моста - поздовжні важелі з центральним шарніром
Гальма	
	з гідроприводом
передніх коліс	сухі дискові
задніх коліс	сухі дискові
стоянкові	дискові
допоміжні	електродинамічні гальмування тяговими двигунами з примусовим повітряним охолодженням гальмівних резисторів
Об'єм кузова, м ³ :	
геометричний	40,0; 45,5; 50,1; 55,0; 59,6; 63,4; 103,8;
з "шапкою" 2:1	67,0; 71,2; 75,5; 80,0; 84,0; 86,6; 134,8;
Радіус повороту, м	13
Габарити, мм	
довжина	11500 (12050***)
ширина	6400 (7350***)
висота	5900 (5900***)
Маса самоскиду, кг	
без вантажу	107100 (стандартна комплектація)
повна маса	243100
Максимальна швидкість, км/год	50

Основні схеми електроприводу великовантажних автосамоскидів

Електрична трансмісія має ряд переваг, у тому числі відсутність коробки зміни передач, муфт зчеплення, карданних валів, ведучих мостів з диференціалами та іншими механічними вузлами. Мотор-колісний привод забезпечує безступінчасте регулювання швидкості з реалізацією повної потужності первинного теплового двигуна у всьому робочому діапазоні швидкостей з автоматичним вибором режиму найбільшої економічності.

Електрична трансмісія дає можливість розвивати на кожному колесі оптимальне за умовами руху тягове зусилля і плавно його регулювати, що дозволяє цілком виключити операцію перемикання передач, поліпшити маневреність, запобігти буксуванню і тим самим підвищити прохідність та збільшити середню швидкість. Одночасно спрощується і полегшується робота водія.

У режимі гальмування електрична трансмісія підтримує необхідне гальмове зусилля на кожному колесі. Так як в даному випадку звичайна система гальм необхідна при екстремому гальмуванні, малих швидкостях руху (коли електричне гальмування неефективне) і на стоянці, то вона виконується більш легкою і має більший термін служби.

Наявність індивідуального привода коліс відкриває широкі перспективи для уніфікації і дозволяє створювати транспортні засоби різного класу, призначення і вантажопідйомності з використанням невеликого числа типорозмірів електромотор-коліс.

Деякі автомобілі, будівельно-дорожні і сільськогосподарські машини мають необхідність у відборі і передачі енергії від первинного джерела для живлення споживачів, що не відносяться до ходової частини. В цьому відношенні електрична трансмісія завдяки наявності двигун-генераторної установки має значні переваги перед іншими типами передач.

Найбільш загальний випадок із приведеної модифікації – електричні трансмісії постійного струму, транспортних засобів з автономним джерелом енергії і мотор-колесами, що мають одноступінчаті редуктори.

Електрична трансмісія складається з генератора, який приводиться в обертання тепловим двигуном, тягових електродвигунів, що вмонтовуються в маточини коліс, і комплекту регулюючої апаратури.

Трансмісія змінно-постійного струму також має тягові двигуни постійного струму, однак їх живлення здійснюється від генераторів

змінного струму через керовані чи некеровані напівпровідникові випрямлячі.

В даний час все більш поширеною є концепція розвитку електричних трансмісій постійного-змінного струму, що можна побачити проаналізувавши трансмісії великовантажних автомобілів провідних світових фірм. Необхідність у трансмісіях змінно-постійного струму викликана двома причинами. По-перше, впровадження на транспортних засобах високошвидкісних газотурбінних двигунів вимагає для безредукторного зчленування з ними високошвидкісних безконтактних генераторів змінного струму. По-друге, тягові генератори постійного струму в одноякірному виконанні можуть бути виконані на потужність не більш 1000 – 1200 кВт при прямому зчленуванні зі швидкохідним дизелем, що має частоту обертання 1500 – 1800 об/хв, що обумовлює застосування на зазначених потужностях генераторів змінного струму. Основною перевагою трансмісії змінно-постійного струму можна визнати поєднання високошвидкісних генераторів з простотою регулювання тягових електродвигунів.

Трансмісія змінно-постійного струму є проміжною і включає агрегати та вузли трансмісій постійного і змінного струму.

Схема силового кола електричної трансмісії обумовлена головним чином видом струму. Силowe коло трансмісії змінно-постійного струму може виконуватися з переключеннями в схемі при переході з одного режиму руху автомобіля в інший, а також з незмінною схемою підключення тягових електродвигунів до генератора. Це є перевагою, тому що в процесі переключень у силовому колі мають місце великі кидки струму і різкі зміни тягового зусилля; крім того, схема спрощується через відсутність додаткової комутаційної апаратури.

Тягові електродвигуни постійного струму можуть бути з'єднані послідовно, паралельно чи паралельно-послідовно (у паралельні групи з послідовно включеними двигунами в кожній групі).

Послідовне з'єднання всіх тягових електродвигунів забезпечує їм однакове навантаження по струму. Але такий варіант з'єднання має свої недоліки: небезпека різкого збільшення частоти обертання тягового двигуна в режимі буксування мотор-колеса, що втратило зчеплення з ґрунтом, і практично повна втрата обертових моментів тягових електродвигунів інших коліс; ускладнення схеми для забезпечення відключення ушкодженого двигуна.

При буксуванні одного колеса в схемі паралельного з'єднання тягових електродвигунів тягові зусилля на інших колесах зберігаються

чи навіть трохи збільшуються. При такому варіанті силової схеми відключення несправного двигуна здійснюється досить просто. Недоліком паралельного з'єднання є велике число комутаційних апаратів, особливо для тягових електродвигунів послідовного збудження зі ступінчатим послабленням магнітного поля, і нерівномірний розподіл навантажень між двигунами.

При паралельно-послідовному з'єднанні тягових електродвигунів кількість комутаційних апаратів зменшується порівняно з попереднім варіантом. Небезпека різкого збільшення частоти обертання в режимі буксування більша, ніж при паралельному з'єднанні, але вона може бути трохи знижена, якщо, наприклад, з чотирьох мотор-коліс з'єднати послідовно двигун переднього колеса одного борта з двигуном заднього колеса іншого борта, тому що втрата зчеплення двох співвісних коліс із ґрунтом малоімовірна. Навантаження між тяговими електродвигунами розподіляються більш рівномірно, ніж у варіанті їх паралельного з'єднання. У зазначеному вище способі послідовного з'єднання двох тягових електродвигунів знижується нерівномірність розподілу навантажень при повороті, тому що в кожному послідовному колі ввімкнені двигуни внутрішнього та зовнішнього борту відносно центра повороту.

Для автомобілів з малим радіусом повороту доцільно використовувати послідовно-паралельне з'єднання тягових електродвигунів, щоб різниця частот обертання внутрішніх і зовнішніх коліс у режимі повороту не здійснювала істотного впливу на розподіл навантажень між двигунами. Для автомобілів з великим радіусом повороту у випадку живлення від одного генератора двох чи чотирьох тягових електродвигунів кращим виявляється їх паралельне з'єднання. Хоча на сьогодні вже існують схеми, які дозволяють при послідовному з'єднанні тягових електродвигунів, забезпечити захист від підвищення швидкості буксуючого колеса і тим самим роблять їх більш перспективними. Схема з послідовним з'єднанням тягових електродвигунів забезпечує примусову рівність їх струмів та моментів, що покращує керуваність самоскиду в режимі повороту, зменшує знос шин, підвищує ресурс тягових двигунів.

У трансмісіях змінно-постійного струму випрямляч «В» може бути загальним груповим чи індивідуальним для кожного тягового електродвигуна (рис. 12.2). Можна визнати за доцільне вибрати кількість випрямлячів з умови, щоб у кожному плечі випрямляча був один вентиль. Наявність групових чи індивідуальних випрямлячів дає можливість зберегти рухливість автомобіля при відмові одного з них.

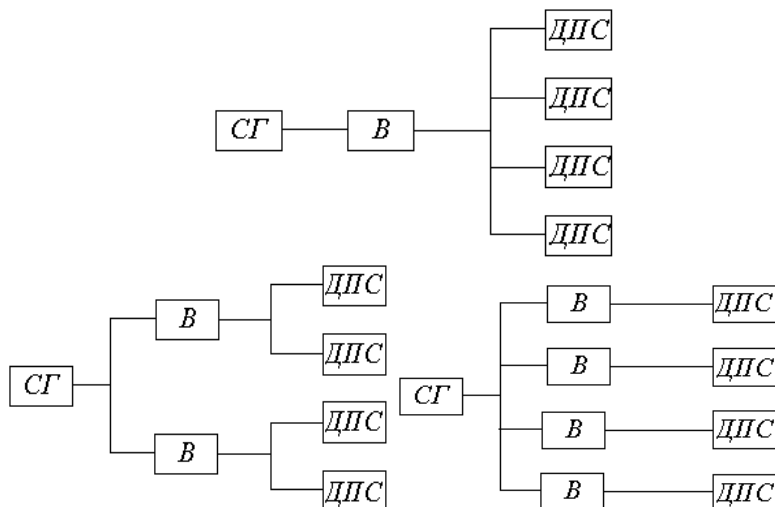


Рисунок 12.2 – Структурні схеми силового кола трансмісії змінно-постійного струму

У більшості трансмісій випрямлячі виконуються некерованими, а регулювання напруги живлення тягових двигунів постійного струму (ДПС) здійснюється за рахунок зміни напруги синхронного генератора (СГ). У трансмісіях багатоколісних автомобілів підвищеної прохідності раціонально використовувати індивідуальні для кожного ДПС керовані випрямлячі, що забезпечують живлення вирівнювання навантажень за допомогою зміни напруги.

Системи гальмування та види гальмування

Автосамоскид обладнаний робочою, стоянковою, допоміжною і запасною гальмівними системами [14].

Робоча гальмівна система з гідравлічним приводом, розділеним на контур передніх і контур задніх гальм, діє на всі колеса. Вона не призначена для уповільнення або гальмування в звичайному режимі. Система повинна використовуватися тільки при недостатній ефективності допоміжного гальма і в критичній ситуації для аварійної зупинки, для повної зупинки самоскиду, що рухається на малій швидкості і короткої стоянки.

Гальмівна система має гідравлічний привод і діє на колеса заднього моста. Вона призначена для загальмовування самоскиду на стоянках.

Допоміжне гальмо – електричне в режимі гальмування тягових електродвигунів.

Допоміжна гальмівна система призначена для тривалої підтримки необхідної швидкості руху на спусках. В якості допоміжної гальмівної системи на самоскиді використовується режим електричного гальмування тягового електроприводу.

Неприпустимо експлуатувати машину при несправній допоміжній гальмівній системі, так як пригальмовування машини на спусках робочою гальмівною системою призведе до перегріву дисків, посиленому зносу накладок і скорочення ефективності гальма [15].

Для гальмування самоскида або підтримки в певних межах швидкості його руху на спуску використовують електричне гальмо. Швидкість руху задається водієм в залежності від кута установки педалі електричного гальмування.

Механізм електродинамічного гальмування тяговими електродвигунами з нагнітальним відведенням тепла повітряними охолоджувачами від гальмівних варисторів забезпечує плавність уповільнення вантажівки до самої зупинки.

В якості запасного (аварійного) гальма використовується гальмо і справний контур робочої гальмівної системи.

Для стоянки при навантаженні і розвантаженні використовується положення "Р" – паркінг перемикача реверсу електроприводу або механічний фіксатор на педалі гальмівного крану робочого гальма. У гідроприводі самоскида реалізовано автоматичне включення гальмівних механізмів задніх коліс при падінні тиску мастила в гальмівних контурах.

Розрізняють три види електричного гальмування двигунів постійного струму [16]:

- рекуперативне гальмування – генераторне гальмування з віддачею електричної енергії в мережу;

- динамічне або реостатне гальмування – генераторне гальмування з гасінням виробленої енергії в реостаті, який підключений до обмотки якоря;

- електромагнітне гальмування – гальмування противмиканням.

Рекуперативне гальмування. Двигун з паралельним збудженням переходить в режим рекуперативного гальмування при збільшенні його частоти обертання відносно номінальної і вище. В цьому випадку ЕРС машини стає більшою напруги мережі і струм змінює свій напрямок, тобто двигун переходить в генераторний режим. У цьому режимі машина створює гальмівний момент, а вироблена електроенергія віддається в мережу і може бути використана з користю.

Динамічне гальмування. При динамічному гальмуванні двигуна з паралельним збудженням обмотку якоря відключають від мережі і

приєднують до неї реостат. При цьому машина працює як генератор, створює гальмівний момент, але вироблена електрична енергія без користі погашається в реостаті.

Електромагнітне гальмування. В цьому режимі змінюють напрямок електромагнітного моменту, зберігаючи незмінним напрямком струму з мережі, тобто момент роблять гальмівним.

Рекуперативне гальмування на автосамоскидах з електромеханічною трансмісією

До кар'єрних самоскидів пред'являються найбільш високі вимоги по безпеці руху, тому що вони експлуатуються в гірських умовах. Вони повинні мати робочу, запасну, зупиночну і допоміжну гальмівні системи.

Дані електромобілі перевищують дорожні вантажні автомобілі по своїх габаритах у 2-3 рази, а по повній масі – у десятки разів. Тому для забезпечення ефективності гальмування необхідними є в десятки разів більші гальмівні зусилля, одержати які досить складно.

Головною умовою безпеки руху є не стільки забезпечення мінімального гальмового шляху, скільки забезпечення надійності всіх гальмівних систем і збереження стійкості автомобіля при гальмуванні на дорогах із низьким коефіцієнтом зчеплення.

Основне призначення стояночної гальмівної системи – забезпечити утримання повністю завантаженого транспортного засобу на схилі не менш 16-18 %, а допоміжної – підтримувати постійну швидкість (30 ± 2 км/год) при русі автомобіля на спуск з нахилом 7 % без застосування інших гальмівних систем.

З огляду на циклічний характер руху самоскидів в кар'єрах по суворо визначеному маршруту, регулювання швидкості руху здійснюється в основному за допомогою допоміжної гальмівної системи – електродинамічного гальмування.

Електродинамічне гальмування забезпечується роботою електричної трансмісії в гальмівному режимі. При цьому кінетична енергія автомобіля перетворюється тяговими електродвигунами, що працюють у генераторному режимі, в електричну, а остання в гальмівних резисторах у теплову і розсіюється в атмосфері. Електродинамічне гальмування може забезпечити сповільнення завантаженого автомобіля до $1,4 \text{ м/с}^2$.

У гальмівному режимі електродвигуни послідовного збудження працюють у режимі генератора постійного струму з незалежним збудженням – наслідком цього є робота дизельного двигуна і тягового генератора зі споживанням пального, тому що в колі збудження протікає практично номінальний струм.

Механічна енергія руху, у процесі гальмування перетвориться в теплову, яка йде на нагрівання навколишнього середовища. Причина низьких енергетичних показників гальмівного режиму в даному випадку є очевидною.

Економічний спосіб керування електромеханічною трансмісією, полягає у використанні перетвореної в електричну потенціальної енергії автосамоскида під час спуску, для приводу системи дизельний двигун – тяговий генератор разом з допоміжними генераторами і системою охолодження електричних машин. Якщо електричну енергію, яка виробляється тяговим двигуном, використовувати для створення тяговим генератором крутного моменту, спрямованого в тому ж напрямку, що і крутний момент дизельного двигуна, витрату палива можна зменшити або зовсім виключити.

Електрична енергія, яка перетворюється тяговим генератором, повинна бути достатня для створення крутного моменту, необхідного для обертання системи дизельний двигун-тяговий генератор. Якщо цей крутний момент, рівний сумарному моменту опору на валу тягового генератора, оберти дизельного двигуна збільшуються до обертів ідеального холостого ходу на механічній характеристиці дизельного двигуна регулюванням обертів, і споживання дизельного палива припиняється. Якщо перетворена енергія більша, рівність моментів досягається при більш високих обертах дизельного двигуна. Тому задача регулювання перетвореної в тяговому генераторі електричної енергії полягає в тому, щоб, з одного боку, забезпечити відсічку подачі палива (якщо це можливо) при спуску автосамоскида а, з іншого боку, у недопущенні надмірного збільшення обертів дизельного двигуна. Частина перетвореної в тяговому двигуні енергії, що через обмеження зростання кількості обертів дизельного двигуна не може бути перетворена в тяговому генераторі, повинна бути розсіяна на резисторах динамічного гальмування. Керуючи перетворенням, накопиченням та розсіюванням цієї частини механічної енергії, можна регулювати швидкість руху автосамоскида під час спуску.

12.2 Ефективність використання комплексної енергетичної установки

Розглянемо випадок, коли на самоскіді встановлено тягові електродвигуни постійного струму. Електродвигуни призначені для приводу коліс самоскида в складі електроприводу змінно-постійного струму [14].

Технічні характеристики тягового електродвигуна ЕК-590УХЛ2 представлені в таблиці 12.2.

Таблиця 12.2 – Технічні характеристики тягового електродвигуна ЕК-590УХЛ2

Назва	Значення
Режим роботи	S1
Потужність номінальна, кВт	590
Напруга, В - номінальна - максимальна	530 1000
Частота обертання, об/хв - номінальна - максимальна робоча	910 2500
Струм обмоток, А - якоря - послідовного збудження	760 760
Коефіцієнт корисної дії, %	93,6
Витрата охолоджуємого повітря м/с ³	2
Напрацювання на відмову, км	180

Тяговий генератор автосамоскиду БелАЗ-75131

На самоскиді встановлено безколекторний одноопорний тяговий генератор змінного струму. Генератор призначений для живлення тягових електродвигунів через випрямний пристрій, а також для живлення обмотки збудження ротора самого генератора через систему автоматичного регулювання [14].

Технічні характеристики синхронного тягового генератора типу ДБН-500/8-А УХЛ2 представлені в таблиці 12.3

Таблиця 12.3 – Технічні характеристики синхронного тягового генератора типу ДБН-500/8-А УХЛ2

Назва	Значення
Номінальні параметри генератора: Потужність, кВт	800
Напруга, В нижча вища	490 700
Струм, А нижчий вищий	2x350 2x510
Частота обертання, с ⁻¹ (об/хв)	25/31,67 (1500/1900)
Частота струму, Гц	100/126,67
Коефіцієнт корисної дії, %	95
Струм збудження, А	210
Режим роботи	S1 (тривалий)

Клас нагрівостійкості ізоляції	F
Габаритні розміри, мм	1255x1150x1135
Маса, кг	2900
Вміст кольорових металів, кг	
мідь	327,4
латунь	7,65

Розрахунок ефективності рекуперації при використанні емнісного накопичувача енергії.

Коефіцієнт використання енергії при розгоні k_i , що враховує втрати на тертя, опір повітря, в електродвигуні, в механічних передачах складає для сучасного автомобільного транспорту 0.7-0.75 [16].

Питоме енергоспоживання автомобільного транспорту при русі з постійною швидкістю 40 км/год становить 80-110 Втгод / т.км [17].

Для кар'єрного самоскида з урахуванням складного рельєфу шляху k_i можна прийняти рівним 0.6, питоме енергоспоживання – 140 Втгод / т.км.

Основні дані, необхідні для подальших розрахунків, технічної характеристики кар'єрного автосамоскиду БелАЗ-75131 наведені в таблиці 12.1.

Розрахункова енергія, необхідна для розгону транспортного засобу масою m до швидкості v , дорівнює:

$$E_m = m \cdot \frac{v^2}{2} \quad (12.1)$$

з урахуванням коефіцієнта використання енергії при розгоні k_i , що враховує втрати на тертя, опір повітря, в електродвигуні, в механічних передачах, розрахункова енергія становить:

$$E_p = E_T / k_i \quad (12.2)$$

Енергія втрат дорівнює:

$$E_{втр} = E_p - E_m = \frac{E_m}{k_i} - E_m = E_m \cdot \left(\frac{1}{k_i} - 1 \right) \quad (12.3)$$

Доступна для рекуперації в накопичувачі енергія складе:

$$E_d = E_{m1} - E_{m1} \cdot \left(\frac{1}{k_i} - 1 \right) = E_{m1} \cdot \left(2 - \frac{1}{k_i} \right) \quad (12.4)$$

де $E_{m1} = m \cdot \frac{v_1^2}{2}$ – накопичено енергія транспортом після вибігу; v_1 – швидкість ругу транспорту після вибігу.

З урахуванням ККД роботи накопичувача отримуємо енергію, що поглинається накопичувачем:

$$E_n = \eta \cdot E_{m1} \cdot \left(2 - \frac{1}{k_i}\right) \quad (12.5)$$

Ефективність рекуперації можна представити як відношення енергії, що поглинається накопичувачем, до енергії, необхідної на розгін транспортного засобу.

Таким чином, максимальна ефективність рекуперації, коли цикл роботи є тільки розгін і подальше гальмування (без руху з постійною швидкістю) дорівнює:

$$EF = \eta \cdot k_i \cdot \left(2 - \frac{1}{k_i}\right) \cdot \frac{E_{m1}}{E_m} = \eta \cdot k_i \cdot \left(2 - \frac{1}{k_i}\right) \cdot \frac{v_1^2}{v^2} \quad (12.6)$$

Беручи $v_i = 0,9 v$ та $\eta = 0,8$, отримуємо максимальну ефективність рекуперації.

$$EF = 0,8 \cdot 0,6 \cdot \left(2 - \frac{1}{0,6}\right) \cdot 0,81 = 0,13 \quad (12.7)$$

Розрахункова енергія, необхідна на розгін навантаженого самоскида до швидкості 40 км/год з урахуванням k_i по формулі складе:

$$E_{p,n} = 243100 \cdot 11,1^2 \div 2 \div 0,6 = 24,9 \text{ МДж} \quad (12.8)$$

З урахуванням ефективності рекуперації $EF=0,13$ енергія гальмування, яка повертається для використання, становить:

$$E_{r,n} = E_m \cdot EF = 24,9 \cdot 0,13 = 3,2 \text{ МДж за цикл} \quad (12.9)$$

Час, що витрачається на розгін, складе:

$$t = \frac{E_{p,n}}{P_r} = \frac{24900 \cdot 10^3}{800 \cdot 10^3} = 31,1 \text{ с} \quad (12.10)$$

Розрахункова енергія, необхідна на розгін порожнього самоскида до швидкості 40 км/год, з урахуванням k_i по формулі 2.1 складе:

$$E_{p,n} = 107100 \cdot 11,1^2 \div 2 \div 0,6 = 11 \text{ МДж} \quad (12.11)$$

З урахуванням ефективності рекуперації $EF = 0,13$ енергія гальмування, яка повертається для використання, становить:

$$E_{r,n} = E_{p,n} \cdot EF = 11 \cdot 0,13 = 1,43 \text{ МДж за цикл} \quad (12.12)$$

При часі, що витрачається на розгін, близько 32 с необхідна середня потужність не більше $11 \text{ МДж} / 32 \text{ с} = 343,8 \text{ кВт}$. Кожного разу на гальмування 10 секунд потужність складе:

$$P = \frac{E_{r,n}}{t} = \frac{1430000}{10} = 143 \text{ кВт} \quad (12.13)$$

Одним із варіантів системи суперконденсаторних накопичувачів в складі КЕУ може виступати система з асиметричними суперконденсаторними модулями [16].

Особливості таких конденсаторів:

- високі питома потужність і енергія;
- широкий інтервал робочих температур (-50 ... + 70 ° C);
- термін служби понад 15 років;
- висока надійність і стійкість до значних перевантажень по напрузі і перезаряду без виходу з ладу;
- низький саморозряд;
- відсутність необхідності обслуговування протягом всього терміну експлуатації;
- безпечна експлуатація;
- відсутність матеріалів, небезпечних для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Встановлений на автосамоскиди з КЕУ конденсаторний накопичувач буде значно перевищувати по техніко-економічним і експлуатаційним показниками акумуляторну батарею, а також ряд вітчизняних і зарубіжних конденсаторів інших типів.

Характеристики конденсаторного модуля, з яких побудований накопичувач, представлені в таблиці 12.4.

Таблиця 12.4 – Основні характеристики конденсаторного модуля 10ЕК303

Робоча напруга, В	15
Ємність, Ф	2000
Енергія, яку запасає конденсатор, кДж	225

Максимальна потужність, кВт	28
Габаритні розміри, мм	390x138x191
Робоча температура, С °	-50...+70
Ресурс, цикли	1000000
Маса, кг	15
Термін служби	Більш ніж 15 років

Розрахунок кількості конденсаторних модулів для запасу енергії гальмування навантаженого автосамоскида БЕЛАЗ-75131:

$$N = \frac{E_{р.п}}{E_k} = \frac{24900 \cdot 10^3}{225 \cdot 10^3} = 110,6 = 111 \text{ шт.} \quad (12.14)$$

Розрахунок кількості конденсаторних модулів для запасу енергії гальмування порожнього автосамоскида БЕЛАЗ-75131:

$$N = \frac{E_{р.п}}{E_k} = \frac{11000 \cdot 10^3}{225 \cdot 10^3} = 48,8 = 49 \text{ шт} \quad (12.15)$$

При гальмуванні навантаженого автосамоскиду БЕЛАЗ-75131 потрібно 111 конденсаторних модулів, а при гальмуванні порожнього автосамоскиду – 49. Але так як при використанні 49 штук не буде достатньо напруги живлення двигунів, потрібно встановлювати 110 конденсаторних модулів, які можна буде використовувати для накопичення енергії гальмування, як порожнього автосамоскиду, так і навантаженого.

Проаналізуємо доцільність створення електропривода великовантажних автомобілів з накопичувачами енергії.

Характерною особливістю роботи великовантажних автосамоскидів в кар'єрах це постійні спуски і підйоми. Як вже було сказано вище, задача полягає в накопиченні енергії гальмування при спуску і в подальшому її використанні при підйомі та русі автомобіля по прямій.

Нижче буде проводиться розрахунок оптимальної кількості конденсаторів. В якості накопичувачів будуть використовуватися електрохімічні конденсатори, що характеризуються певною масою, яку теж необхідно везти і витратити на неї енергію. Тобто при цьому може виникнути ситуація, коли на накопичувачі буде витрачено енергії більше чим вони зможуть накопичити.

Характеристики конденсаторного модуля представлені в таблиці 12.4. Конденсаторні модулі даного типу і будуть використовуватися в подальших розрахунках.

Пристаюючи безпосередньо до розрахунків, необхідно врахувати, що рекуперативне гальмування буде використовуватися в основному при спуску в кар'єр порожніх автомобілів. Тобто повна маса автомобіля буде складатися з маси автомобіля і маси накопичувачів енергії. Рух на спуску буде обмежуватися швидкістю, залежно від ухилу дороги, не більше 40 км/год. При цьому можна знехтувати силою опору повітряного середовища. В кінцевому підсумку на автомобіль буде діяти рушійна сила, обумовлена складовою сили тяжіння, і основної сили опору руху. Також слід врахувати, що для порожніх автомобілів основний питомий опір збільшується на 20% [18-20].

Сила спрямована в бік руху автомобіля при спуску, Н:

$$F_{\text{сп}} = F_i - F_0 = (m_k \cdot N_k \cdot m_a) \cdot i \cdot g - (m_k \cdot N_k \cdot m_a) \cdot f_0 \cdot 1,2 \quad (12.16)$$

де m_k – маса накопичувача, т; N_k – кількість накопичувачів, шт; m_a – маса автомобіля, т; i – нахил дороги; $g = \frac{9.81\text{М}}{\text{с}^2}$; f_0 – основний питомий опір, Н/т; 1,2 - коефіцієнт, який враховує підвищення основного питомого опору на 20%.

Таким чином, енергія накопичена під час спуску автомобіля в кар'єр буде визначатися наступним виразом:

$$W_{\text{сп}} = F_{\text{сп}} \cdot L_{\text{сп}} \quad (12.17)$$

де $L_{\text{сп}}$ – довжина спуску, м.

З урахуванням (2.14) отримаємо:

$$W_{\text{сп}} = \left((m_k \cdot N_k \cdot m_a) \cdot i \cdot g - (m_k \cdot N_k \cdot m_a) \cdot f_0 \cdot 1,2 \right) \cdot L_{\text{сп}} = (m_k \cdot N_k \cdot m_a) \cdot (i \cdot g - f_0 \cdot 1,2) \quad (12.18)$$

З іншого боку енергія яка накопичується в ємностях за період руху автомобіля на спуску, Дж:

$$W_{k\Sigma} = N_k \cdot W_k \quad (12.19)$$

де $W_k = \frac{C_k \cdot U_k^2}{2}$ – енергія, яку здатний накопичити один конденсаторний модуль, Дж. $W_k = \frac{2000 \cdot 15^2}{2} = 225$ кДж

Прирівнявши (12.18) до (12.19) отримаємо необхідну кількість конденсаторних модулів, які зможуть накопичити всю енергію гальмування при спуску:

$$N_k = \frac{m_a \cdot L_{\text{сп}} \cdot (i \cdot g - 1,2 \cdot f_0)}{W_k - m_k \cdot L_{\text{сп}} \cdot (i \cdot g - 1,2 \cdot f_0)} \quad (12.20)$$

З цієї формули видно, що кількість накопичувачів залежить від довжини спуску, його ухилу, а також основного питомого опору руху.

Далі в розрахунках буде прийнято, що при спуску автосамоскид тільки накопичує енергію, при цьому не враховується споживання енергії на бортове обладнання, охолодження, а також на живлення обмоток збудження двигунів (так як вони переключаються на незалежне збудження і споживають енергію від генератора постійного струму). Витрати енергії на зазначене обладнання практично постійні, тобто на порівняльний аналіз дані допущення не вплинуть, а також істотно не вплинуть на результати розрахунків, але обчислення при цьому спростяться.

Для спрощення приймається маршрут руху автосамоскиду таким: автомобіль їде порожнім по прямій дорозі, без ухилів, витрачаючи енергію на пересування своєї власної ваги з урахуванням ваги накопичувачів; далі він спускається в кар'єр, в цьому випадку він не споживає енергію, а тільки накопичує в конденсаторних модулях; вантажним виїжджає з кар'єра і по прямій доставляє вантаж на місце. Коли автомобіль виїжджає з кар'єра, він використовує енергію накопичену в конденсаторах, якщо ж її не вистачає, то почне працювати від тягового генератора постійного струму, тобто автосамоскид починає їхати в звичайному для неї режимі.

При русі з пустим кузовом основний питомий опір приймається рівним при русі по шосейним дорогам $f_0 = 1,2 \cdot 350 \text{ Н/т}$, навантаженим – $f_0 = 350 \frac{\text{Н}}{\text{т}}$ [21]. Рух автомобіля по дорогах маршруту приймається двостороннім, а це значить, що він спускається в кар'єр і виїжджає з нього по дорозі з однаковим нахилом, який був прийнятий.

Далі всі розрахунки будуть здійснюватися з урахуванням прийнятих припущень, значень нахилів, опорів руху і параметрів конденсаторних модулів. Довжина дороги з нахилом і без нахилу поки береться величиною змінною, так як в подальших розрахунках будуть визначатися дані довжини при яких доцільно використовувати накопичувачі енергії.

Для початку необхідно вивести рівняння енергії, що витрачається на перевезення вантажу по повному маршруту [22]:

$$W(N_k, L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}) = 1,2 \cdot f_0 \cdot (m_a + m_k \cdot N_k) \cdot L_{\text{пр}} + (f_0 + i \cdot g) \cdot (m_a + m_{\text{зав}}) \cdot L_{\text{сп}} + f_0 \cdot (m_a + m_{\text{зав}}) \cdot L_{\text{пр}} - N_k \cdot W_k \quad (12.21)$$

де $L_{\text{пр}}$ – довжина дороги без нахилу, м;

$m_{\text{зав}} = 136$ т – номінальна вага вантажу, який може перевозити автомобіль.

Якщо згрупувати всі величини при $L_{\text{пр}}$, то:

$$W(N_k, L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}) = (2,2 \cdot m_a + 1,2 \cdot m_k \cdot N_k + m_{\text{зав}}) \cdot f_0 \cdot L_{\text{пр}} + (f_0 + i \cdot g) \cdot (m_a + m_{\text{зав}}) \cdot L_{\text{сп}} - N_k \cdot W_k \quad (12.22)$$

Введемо величину, яка дорівнює енергії, що витрачається на повний маршрут руху автомобіля віднесеної до довжини маршруту і маси вантажу, що перевозиться. Маса вантажу, що перевозиться визначається:

$$m_{\text{н}} = m_{\text{нав}} - N_k \cdot m_k \quad (12.23)$$

тоді:

$$W_{\text{пит}}(N_k, L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}) = \frac{W(N_k, L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}})}{(m_{\text{нав}} - N_k \cdot m_k) \cdot (L_{\text{пр}} + L_{\text{сп}})} \quad (12.24)$$

За виразом (12.24) можна побудувати багато залежностей. По-перше, потрібно оцінити, чи досягатися хоч якийсь ефект економії енергії. Саме для цього потрібно побудувати графіки залежностей $W_{\text{пит}}(N_k)$. При цьому необхідно задаватися цілком конкретними значеннями $L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}$.

Для того, щоб було зручніше проводити аналіз графіків, то кожен графік буде побудований для однієї довжини кар'єра і безлічі довжин дороги без ухилу. При побудові кількість накопичувачів змінювалася від 0 до значення $N_k(L_{\text{сп}})$, тобто максимальне значення на осі абсцис визначається довжиною спуску.

Нижче наведені графіки для різних значень $L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}$. Для усіх цих побудов:

- 1 - $L_{\text{пр}} = 0$ м
- 2 - $L_{\text{пр}} = 500$ м;
- 3 - $L_{\text{пр}} = 1000$ м;
- 4 - $L_{\text{пр}} = 1500$ м;
- 5 - $L_{\text{пр}} = 2000$ м;
- 6 - $L_{\text{пр}} = 2500$ м;

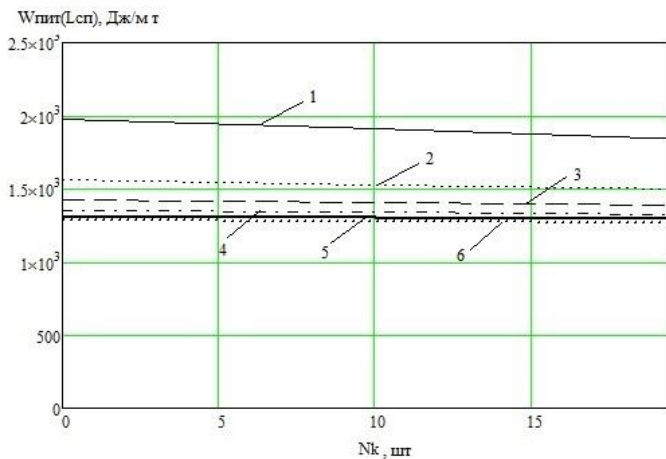


Рисунок 12.3 – Графік залежності $W_{\text{пит}}(N_k)$ при $L_{\text{сп}} = 500$ м

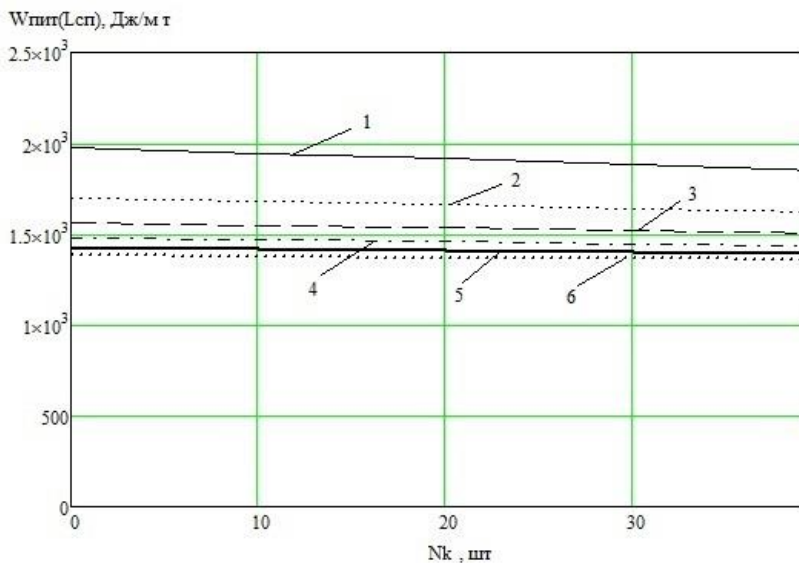


Рисунок 12.4 – Графік залежності $W_{\text{пит}}(N_k)$ при $L_{\text{сп}} = 100$ м

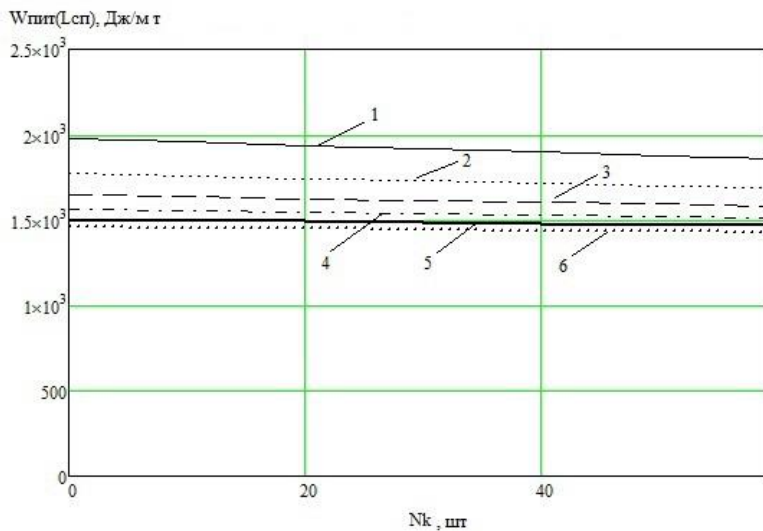


Рисунок 12.5 – Графік залежності $W_{\text{пит}}(N_k)$ при $L_{\text{сп}} = 1500$ м

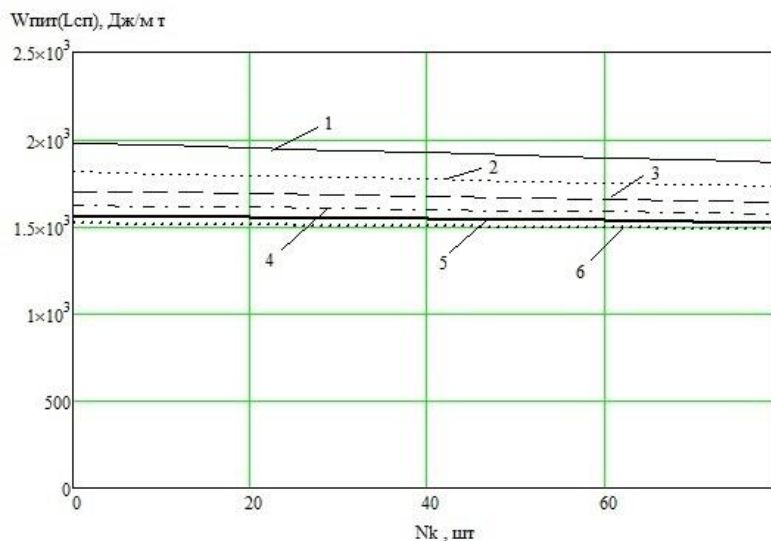


Рисунок 12.6 – Графік залежності $W_{\text{пит}}(N_k)$ при $L_{\text{сп}} = 2000$ м

Аналізуючи побудовані залежності, можна сказати, що спостерігається зменшення питомої споживаної енергії зі збільшенням числа емоностей, тоді найменше споживання енергії буде при кількості накопичувачів розрахованих на всю довжину кар'єра. Далі для побудови всіх інших залежностей кількість конденсаторних модулів буде розраховуватися за виразом (12.20).

Зменшення питомої енергії на перевезення вантажу тим більше, чим менша відстань маршруту.

Також можна помітити, що при довжині кар'єра рівній 2000 м, ефекту економії енергії практично немає, навіть якщо перевезення вантажу не проводиться на дорозі без нахилу.

Щоб більш детально проаналізувати залежність зміни споживання питомої енергії при перевезенні вантажу варто побудувати:

1) $W_{пит}(L_{сп})$ величини $L_{пр}$ будуть задаватися постійними:

- 1 - $L_{пр} = 0$ м;
- 2 - $L_{пр} = 500$ м;
- 3 - $L_{пр} = 1000$ м;
- 4 - $L_{пр} = 1500$ м;
- 5 - $L_{пр} = 2000$ м;
- 6 - $L_{пр} = 2500$ м;

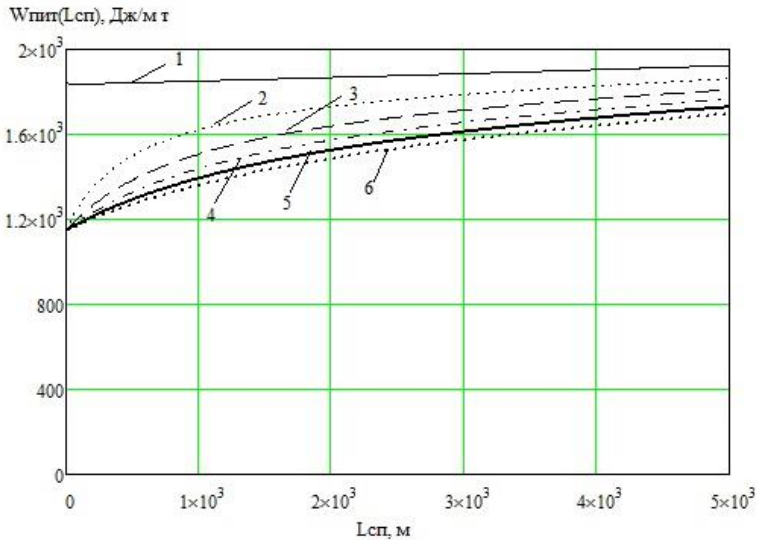


Рисунок 12.7 – Графік залежності $W_{пит}(L_{сп})$

2) $W_{\text{пит}}(L_{\text{пр}})$ В цьому випадку:

- 1 - $L_{\text{сп}} = 500$ м;
- 2 - $L_{\text{сп}} = 1000$ м;
- 3 - $L_{\text{сп}} = 1500$ м;
- 4 - $L_{\text{сп}} = 2000$ м;
- 5 - $L_{\text{сп}} = 2500$ м;
- 6 - $L_{\text{сп}} = 3000$ м;

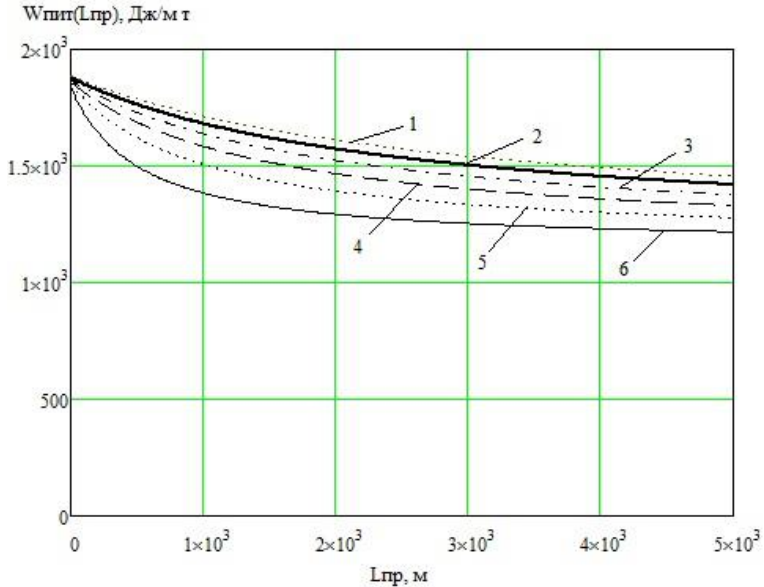


Рисунок 12.9 – Графік залежності $W_{\text{пит}}(L_{\text{пр}})$

Наведені вище графіки практично не дають жодного уявлення про вплив конденсаторів на енергетичний ефект. Для цього вводиться величина, яка дорівнює різниці питомої енергії без використання накопичувачів і питомої енергії при їх використанні. Для знаходження питомої енергії без впровадження конденсаторних модулів необхідно просто підставити у вираз (12.24) $N_k = 0$, це можна записати:

$$\Delta W_{\text{пит}}(L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}) = W_{\text{пит}}(0, L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}) - W_{\text{пит}}(N_k, L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}), \frac{\text{Дж}}{\text{м}\cdot\text{т}} \quad (12.25)$$

де N_k визначається з виразу (12.20), тобто є функцією залежить від $L_{сп}$. Можна також записати $N_k(L_{сп})$. Ще можна ввести величину рівну

$$\Delta W_{пит}(L_{пр}, L_{сп}) = \frac{W_{пит}(0, L_{пр}, L_{сп}) - W_{пит}(N_k, L_{пр}, L_{сп})}{W_{пит}(0, L_{пр}, L_{сп})} \cdot 100\% \quad (12.26)$$

За наведеним виразом можна дати порівняльну оцінку впровадження рекуперативного гальмування, практично ця величина дасть економічний ефект у відсотках без урахування капітальних витрат.

Графіки будуватимуться як $\Delta W_{пит}(L_{сп})$ та $W_{пит\%}(L_{сп})$, а $L_{пр}$ буде задаватися:

- 1 - $L_{пр} = 0$ м;
- 2 - $L_{пр} = 50$ м;
- 3 - $L_{пр} = 500$ м;
- 4 - $L_{пр} = 1000$ м;
- 5 - $L_{пр} = 1500$ м;
- 6 - $L_{пр} = 2000$ м;

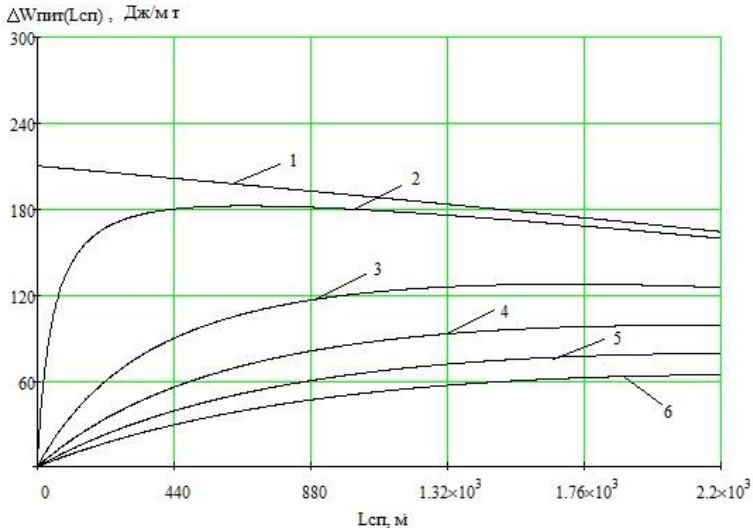


Рисунок 12.9 – Графік залежності $\Delta W_{пит}(L_{сп})$

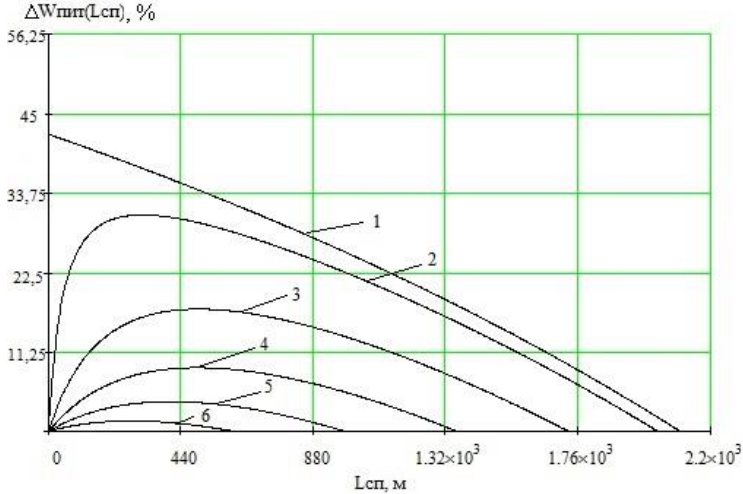


Рисунок 12. 10 – Графік залежності $\Delta W_{\text{пит}\%}(L_{\text{сп}})$

За наведеними вище графіками можна сказати, при різних значеннях відстаней перевезення вантажу по дорозі без нахилу – $L_{\text{сп}}$ і дороги з прийнятим середнім нахилом $i = 70\%$ досягається різний економічний ефект. Причому він може бути як позитивним так і негативним.

Або ж стає невигідним ставити накопичувачі, тоді, коли енергія витрачена на їх перевезення більше ніж вони зможуть накопичити. Також при великій глибині кар'єру необхідно багато накопичувачів, при цьому їх маса стає суттєвою, що впливає на величину перевезеного автосамоскидом вантажу.

Необхідно визначити граничну залежність $L_{\text{сп}}(L_{\text{пр}})$ при якій спостерігається хоч якась економія енергії витрачена на перевезення вантажу. Для цього вираз (12.25) прирівнюється нулю і вирішується відносно $L_{\text{сп}}$, при чому $L_{\text{пр}}$ залишається змінною.

$$\Delta W_{\text{пит}}(L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}) = W_{\text{пит}}(0, L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}) - W_{\text{пит}}(N_k, L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}) = 0 \quad (12.27)$$

Розв'язавши (12.25) як було сказано вище:

$$L_{\text{сп пред}}(L_{\text{пр}}) = -0,743 \cdot L_{\text{пр}} + 2098,8 \quad (12.28)$$

У подальших розрахунках буде визначено залежність при якій спостерігаються мінімальні витрати енергії під час перевезення вантажу. Для цього необхідно продиференціювати вираз (12.27) по змінній $L_{сп}$ і прирівняти отриману похідну нулю:

$$\frac{\partial \Delta W_{уд}(L_{пр}, L_{сп})}{\partial L_{сп}} = 0$$

Після цього потрібно вирішити рівняння щодо $L_{сп}(L_{пр})$, що дає дві відповіді:

$$L_{сп \text{ макс1}}(L_{пр}) = \frac{1,1 \cdot 10^5}{6,5446 \cdot 10^9 \cdot L_{пр} - 1,5415 \cdot 10^{14}} \times \quad (12.29)$$

$$\times (1,8868 \cdot 10^9 \cdot L_{пр} + 14 \cdot \sqrt{4,254 \cdot 10^{11} + L_{пр}^3 + 2,8314 \cdot 10^{19} \cdot L_{пр}})$$

$$L_{сп \text{ макс2}}(L_{пр}) = \frac{1,1 \cdot 10^5}{6,5446 \cdot 10^9 \cdot L_{пр} - 1,5415 \cdot 10^{14}} \times \quad (12.30)$$

$$\times (1,8868 \cdot 10^9 \cdot L_{пр} + 14 \cdot \sqrt{4,254 \cdot 10^{11} + L_{пр}^3 + 6,9411 \cdot 10^{15} \cdot L_{пр}^2 + 2,8314 \cdot 10^{19} \cdot L_{пр}})$$

Нижче наведені графіки залежностей розраховані за формулами (12.29) і (12.30):

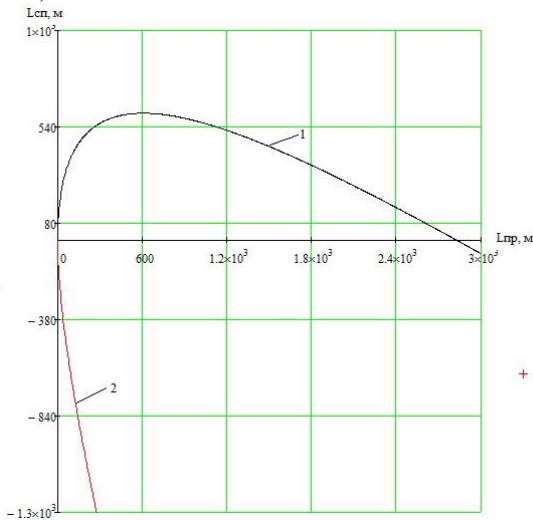


Рисунок 12.11 – Графік залежності $L_{сп}(L_{пр})$

Перша залежність побудована за (12.29), друга – залежність побудована за (12.30).

Звідки можна зробити висновок, що вираз (12.29) не має ніякого сенсу, так як відстань не може бути від'ємною. У подальших розрахунках і побудовах буде використовуватися тільки вираз (12.30).

Для аналізу потрібно побудувати на одному графіку залежності $L_{сп\ пред}(L_{пр}), \Delta W_{уд\ макс\%}(L_{пр}, L_{сп\ пакс}(L_{пр}))$:

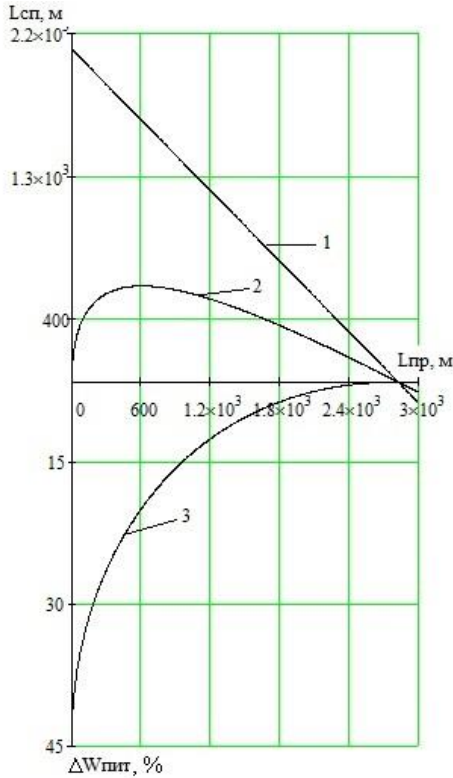


Рисунок 12.12 – Графік залежності $L_{сп гр}(L_{пр}), L_{сп макс}(L_{пр}), \Delta W_{пит\%}(L_{пр}, L_{сп макс}(L_{пр}))$

На представленому графіку:

1 – гранична залежність $L_{сп гр}(L_{пр})$ (при даному співвідношенні економія енергії дорівнює нулю);

2 – $L_{\text{сп макс}}(L_{\text{пр}})$ (в цьому випадку спостерігаються найменші витрати енергії на перевезення вантажу);

3 – $\Delta W_{\text{пит\%}}(L_{\text{пр}}, L_{\text{сп макс}}(L_{\text{пр}}))$ (економія енергії при співвідношенні відстаней відповідних виразу (12.30));

По побудованому вище графіку можна визначити найбільш оптимальні умови використання автомобіля, задаючись, наприклад, довжиною дороги під час перевезення вантажу по прямій. Також можна побачити при якому співвідношенні відстаней $L_{\text{пр}}, L_{\text{сп}}$ доцільно використовувати накопичувачі електричної енергії. Тобто задаючись відстанню з перевезення вантажу по дорозі без нахилу визначаємо по кривій 2 оптимальну довжину спуску в кар'єр, а по кривій 3 – економію питомої енергії (%) перевезення вантажу порівняно з випадком, коли не використовувалися б накопичувачі.

Якщо проаналізувати вираз (12.29) (йому відповідає крива 1 на графіку), то неважко побачити, що навіть якщо вантаж вивозити тільки з кар'єра (при цьому автомобіль буде рухатися по дорозі з нахилом рівним $i = 70\%$) то довжина спуску в кар'єр не повинна перевищувати 2098,8 м \approx 2100 м.

Нижче зведені в таблицю 12.5 дані залежно від відстані спуску в кар'єр, це такі параметри, як кількість накопичувачів типу 10ЕК303 з представленими вище параметрами, сумарна маса цих накопичувачів, а також їх об'єм.

Таблиця 12.5 – Зведені дані кількості, маси та об'єму накопичувачів в залежності від довжини спуску.

Довжина спуску $L_{\text{сп}}, \text{ м}$	Кількість конденсаторних модулів $N_k, \text{ шт.}$	Сумарна маса накопичувачів, кг	Сумарний об'єм накопичувачів, м^3
500	29	986	0,667
1000	58	1972	1,334
1500	87	2958	2,001
2000	118	4012	2,714
2100	124	4216	2,852

За наведеними вище графіками можна сказати, що при різних значеннях відстаней перевезення вантажу по дорозі без нахилу і дорозі з прийнятим середнім нахилом $i = 70\%$ досягається різний економічний ефект. Так як маршрути руху автосамоскидів можуть суттєво відрізнятись, ми можемо потрапити в зону неекономічного використання накопичувачів, тому було слід рекуперувати тільки кінетичну енергію.

На рисунку 12.13 зображений графік руху автосамоскида в кар'єрі, який побудований по практичним даним.

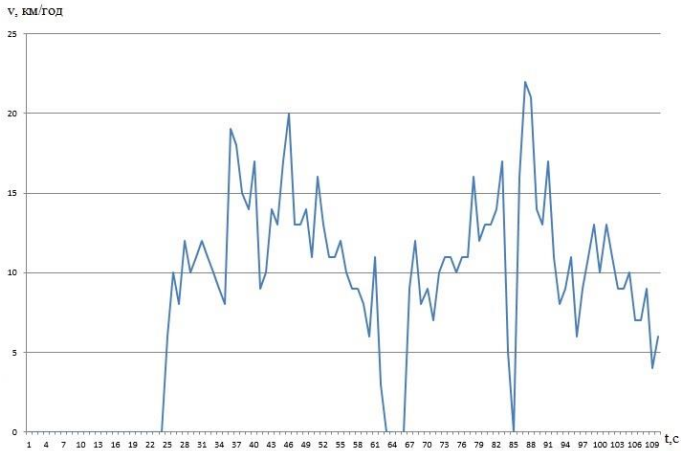


Рисунок 12.13 – Графік руху автосамоскида в кар'єрі

На рисунку 12.14 зображений графік витрати палива автосамоскида при русі в кар'єрі, який побудований по практичним даним.

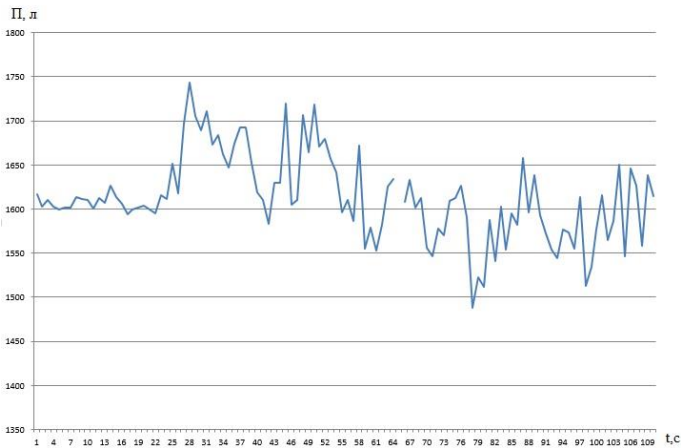


Рисунок 12.14 – Графік витрати палива автосамоскида при русі в кар'єрі

З графіка руху видно, що автосамоскид рухаючись по кар'єру часто гальмує, а потім набирає розгін. Тому рішення рекуперувати тільки кінетичну енергію буде мати економічний ефект та дозволить економити дизельне паливо на всьому етапі експлуатації.

Отже, при гальмуванні навантаженого автосамоскида БеЛАЗ-75131 потрібно 111 конденсаторних модулів, а при гальмуванні порожнього автосамоскиду – 49. Але, так як при використанні 49 штук не буде достатньо напруги для живлення двигунів, а також з графіків ми бачимо, що чим менша довжина спуску автосамоскиду, тим більша економія та ефективність рекуперації енергії. Тому слід встановити 110 конденсаторних модулів з сумарною масою 1650 кг та об'ємом 1,13 м³, які можна буде використовувати для накопичення енергії гальмування, як порожнього автосамоскида, так і навантаженого.

Контрольні питання до розділу 12

1. Яка ефективність використання комплексних енергетичних установок транспортних засобів?
2. Що таке рекуперативне гальмування?
3. Які є функціональні елементи транспортних засобів з використанням комплексних енергетичних ресурсів?
4. Які є схеми електроприводу великовантажних самоскидів?
5. У чому особливість розрахунку ефективності рекуперації при використанні ємнісного накопичувача енергії?

РОЗДІЛ 13

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ РОБОТІ З ЕНЕРГОРЕСУРСАМИ

13.1 Екологічні аспекти транспортної галузі

Сьогодні в Україні досить гостро стоять проблеми забруднення довкілля від транспортної інфраструктури. Це безпосередньо вплив автомобільного, залізничного, авіаційного та водного транспорту, а також антропогенний вплив на навколишнє середовище під час проектування, будівництва та експлуатації лінійних транспортних об'єктів.

Серед усіх транспортних засобів автотранспорт залишається основним джерелом забруднення атмосферного повітря та порушення екологічної рівноваги. Для транспортних засобів використовують пальне з різних видів нафтопродуктів і мастил, летючі фракції яких у складі відпрацьованих газів дизельних та бензинових двигунів внутрішнього згоряння забруднюють практично всі об'єкти довкілля.

Автомобільний транспорт є джерелом небезпечних хімічних забруднень атмосферного повітря, водоймищ, сільськогосподарських зон, а також шуму та вібрації, що може впливати на стан здоров'я населення. Кожен автомобіль при згорянні 1 кг бензину використовує 15 кг повітря, зокрема, 5,5 кг кисню. При згорянні 1 т пального в атмосферу викидається 200 кг окису вуглецю. На частку автотранспорту припадає близько 55 % шкідливих надходжень загального обсягу, що включають понад 200 різних сполук, у тому числі: окиси вуглецю, свинцю, азоту, формальдегіди, зокрема домішки ароматичних вуглеводів, бензопірен, канцерогени, у тому числі і ПАВ, серед яких чимало мутагенів. Вирішити дану проблему можливо через виробництво і впровадження нових (альтернативних) видів екологічно безпечного пального, наприклад, водню. Основна перевага водню як палива у тому, що транспорт працює майже безшумно, а з вихлопної труби замість двоокису вуглецю й інших речовин, що забруднюють навколишнє середовище, виходить водяна пара без жодних домішок. Інша, не менш важлива перевага цього виду палива – його безпека. Справа в тому, що в бензобаці, крім бензину є ще й повітря, що при визначених умовах може привести до вибуху пального. Водень перебуває в баках під тиском, і повітря в ці баки потрапити не може. Вони настільки міцні, що навіть у разі важкої дорожньо-транспортної пригоди можна не боятися вибуху пального.

Автотранспорт також спричинює негативний вплив акустичним (шумовим) забрудненням на центральних магістралях. Результати акустичних вимірів та соціологічні дослідження свідчать, що головним джерелом акустичного забруднення у місті є автотранспорт. Приблизно кожний другий житель міста страждає від створюваного ним шуму.

Водночас джерелом значного шуму є відкриті ділянки метрополітену і міські трамваї. Шкідливий вплив не тільки на населення, а й на споруди спричиняє вібрація уздовж ліній метрополітену. На сьогодні спостерігається тенденція до розширення площ акустичного дискомфорту на забудованих територіях. Недосконалість законодавчо-нормативної бази, відсутність економічних важелів регулювання допустимих рівнів звуку є причиною зростання акустичного забруднення міста.

Рівні акустичного забруднення у місті можуть здійснювати негативний вплив на здоров'я і самопочуття населення, у тому числі збільшувати кількість серцево-судинних захворювань.

Акустична оцінка, проведена санепідслужбою та фахівцями Інституту гігієни та медичної екології Академії медичних наук України, засвідчила, що в зоні впливу загальноміських магістральних вулиць еквівалентні рівні шуму лише на відстані 50 м від проїжджої частини вулиці відповідають гігієнічним нормативам, районних – 30 м, вулицях міського значення – 25 м.

У зв'язку з окресленими питаннями зусилля органів державної влади та природоохоронних служб, передусім мають бути спрямовані на попередження та зменшення шкідливого впливу транспорту на довкілля і здоров'я населення, шляхом упровадження організаційних заходів щодо створення швидкісних автомагістралей без припинення транспортного руху, об'їзних автошляхів, використання нестільованого бензину і скрапленого природного газу та інших заходів. Перехід громадського транспорту на водневе паливо дасть змогу не тільки значно зменшити залежність від поставок нафти, а і скоротити викиди вихлопних газів, а також знизити рівень шуму в містах. Технології використання водневого палива вже досягли такого рівня, що в найближчій перспективі стане можливим масове виробництво відповідних транспортних засобів. Хоча й для їх експлуатації необхідна інфраструктура і, насамперед, мережа автозаправних станцій.

Одна з проблем озеленення невеликих міст, незважаючи на повне дотримання принципів озеленення – знищення зелених насаджень автомобільним транспортом у місцях несанкціонованих стоянок, насамперед поблизу торгових зон міст. Складною є ситуація і навколо

будівництва великих магістральних шляхів. Під час активного будівництва вирубується велика кількість дерев.

Внаслідок тривалого будівництва та інтенсивного антропогенного впливу екосистеми біля проєктованої дороги втрачаються енергетичні зв'язки між живими компонентами у середині системи. Зокрема, стає неможливим функціонування екологічних коридорів на територіях задіяних під час будівництва. Залишаються не розробленими нормативні інструкції з охорони тваринного і рослинного світу під час проєктування, будівництва та експлуатації лінійних об'єктів. Сьогодні склалася ситуація, коли нехтують екологічними вимогами при будівництві автомобільних доріг та залізниць. А найприкріше те, що ці дороги, які дехто називає автобанами, насправді є дуже невисокої якості. Вони не відповідають елементарним екологічним вимогам і розривають досі цілісні екосистеми на дрібні резервації. Усе це може мати непоправні наслідки для природи. Адже економія коштів, нехтування екологічною безпекою рано чи пізно обернуться величезними втратами.

Провідне місце в транспортному комплексі посідає залізничний транспорт. У загальному об'ємі перевезень він займає 24 %. Довжина залізничних магістралей становить 22,8 тис. км. Їхня щільність – 38 км на 1 тис. км². Найбільш густа мережа залізничних шляхів сформована у Донбасі, Придніпров'ї, Західних районах України. Все це істотно збільшує викиди у навколишнє середовище при перевезенні пасажирів та вантажів. Крім того, це джерело шумового забруднення. Для поліпшення екологічної ситуації у залізничній галузі необхідно: створити системи баз даних з метою обробки інформації з екологічної ситуації на підприємствах залізничного транспорту; розробити безвідходні ресурсоощадні технології і екологічну техніку для очищення вентиляційних викидів підприємств залізничного транспорту від токсичних забруднень (органічні розчинники, аерозолі ділянок нанесення антикорозійних покриттів) з одержанням із забрудників корисних продуктів; провести комплексну оцінку екологічної ситуації в місцях розташування залізничних підприємств, прогноз її зміни, розробку і поетапну реалізацію моніторингу й оздоровлення навколишнього середовища; організувати моніторинг і розробку засобів поліпшення умов праці й екологічного стану на залізницях; впорядковувати зелені зони уздовж залізниць.

Україна з розгалуженою річковою мережею зазнає значного антропогенного впливу від водного транспорту. Річкова навігація охоплює майже всі регіони країни і має перспективи майбутнього зростання, тому при експлуатації цього транспорту слід враховувати

екологічну компоненту і мінімізувати забруднення води нафтою й нафтопродуктами, відходами харчування, сміттям тощо.

На сьогодні авіація в Україні розвивається досить швидко. Основними проблемами розвитку повітряного транспорту в Україні є застарілий парк літаків, фактична відсутність внутрішньодержавних перевезень, невідповідність технічних та екологічних можливостей аеропортів України сучасним міжнародним вимогам. Тому авіаційний транспорт є джерелом порушення акустичного режиму на значній території, стану атмосферного повітря та підземних вод. Небезпеку для довкілля становлять і нафтові сховища в аеропортах.

Занепокоєння громадськості сьогодні викликають проекти пов'язані з будівництвом та експлуатацією судноплавних каналів. Прикладом цього є негативні дії державних службовців щодо Дунайського біосферного заповідника (ДБЗ) і питань будівництва судноплавного ходу «Дунай – Чорне море» по гирлу Бистре, розташованого на території цього заповідника та будівництва автобану Одеса – Київ.

Дунайський біосферний заповідник є складним комплексом об'єктів, що не має аналогів у світі, і виконання на його території таких широкомасштабних робіт викликає серйозне занепокоєння громадськості. Законодавчі аспекти охорони ДБЗ не дають можливості здійснювати створення судового ходу на території заповідника. Рукав Бистрий належить до території зони ДБЗ та охороняється українським та міжнародним законодавством. За умови будівництва на території ДБЗ статус біосферного заповідника буде істотно знижений, та, як наслідок, можливе його виключення зі світової мережі особливо цінних природних територій. Порушення заповідного режиму на території біосферного заповідника негативно вплине на міжнародний імідж України, яка ставить за мету вступ до Європейського союзу. Але головним буде те, що Україна та її народ буде поставлений перед фактом втрати природних цінностей світового масштабу. Рішення органів державної влади та застосовані ними процедури щодо проекту будівництва судноплавного ходу та руйнування ДБЗ приймаються непрозоро для громадськості та з порушенням чинного природоохоронного законодавства.

Вирішення екологічних проблем тільки в одній галузі народного господарства – в транспортному секторі країни, дасть можливість не тільки значно знизити модуль техногенного навантаження на довкілля, сприяти збереженню унікальних природних та історико-культурних ландшафтів, а й суттєво зменшити рівень захворюваності населення.

13.2 Техніка безпеки при роботі з паливороздавальним обладнанням

Небезпеки пов'язані з паливороздавальним обладнанням

Небезпеки пожеж та вибухів

Небезпечні ситуації під час роботи з паливороздавальним обладнанням можуть спричинити пожежу чи вибух, забруднення навколишнього середовища та створити загрозу для здоров'я працівників заправної станції.

Виникнення пожеж та вибухів може бути спричинене як особливостями нафтопродуктів, так і недосконалою організацією роботи із заправним обладнанням.

До основних небезпек виникнення пожежі чи вибуху належать: несправність електрообладнання; грозові розряди; самозаймання нафтопродуктів; застосування відкритого вогню під час технічного обслуговування та ремонту паливозаправних колонок (ПРК); можливе електризування пального внаслідок тертя об метал.

Небезпека, пов'язана з довкіллям

Забруднення навколишнього середовища на АЗС може проявитися у вигляді проливання пального та високої концентрації газових випарів нафтопродуктів. Провливання пального можливе внаслідок переповнення резервуарів під час зливання нафтопродуктів із автоцистерни, переповнення баку авто паливом або розгерметизації з'єднувальних трубопроводів чи резервуарів.

Небезпеки для здоров'я працівників

Здоров'я працівників може піддаватися кільком видам небезпек:

- загазованість повітря вихлопами через перебування великої кількості транспорту на території заправної станції;
- пари нафтопродуктів;
- безпосередній вплив пального на шкіру людини;
- ймовірність отримання опіків під час пожежі.

Запобіжні заходи при роботі з паливороздавальним обладнанням

Загальні запобіжні заходи

За охорону праці та безпечну роботу паливороздавальних колонок повинен відповідати один з інженерно-технічних працівників. Працівники які порушують техніку безпеки несуть відповідальність згідно норм чинного законодавства.

Якщо для роботи на міні-АЗС призначений колективний персонал, то відповідальним у зміні є один з операторів. Якщо АЗС працює із картковим доступом (без оператора), то відповідальність за

техніку безпеки покладається на водія, який особисто здійснюватиме заправку транспортного засобу паливом.

Про кожен нещасний випадок на заправній станції відповідальна особа зобов'язана повідомити керівництву. Про всі нештатні ситуації повинні бути зроблені записи у спеціальному журналі передачі зміни.

До роботи з заправними колонками повинні допускатися лише відповідальні особи, які пройшли вступний, первинний чи цільовий інструктаж з техніки безпеки та охорони праці.

Для безпечної роботи на АЗС потрібно дотримуватись таких основних заходів: не впускати сторонніх осіб до службових приміщень та наявного обладнання; забороняється палити у приміщенні та поблизу заправної станції; у нічний час територія АЗС повинна добре освітлюватись; люки над підземними резервуарами повинні бути щільно закриті кришками; дверцята заправних колонок мають бути зачинені та опломбовані; заборонено заправляти паливом транспорт з легкозаймистими речовинами та транспорт в якому знаходяться пасажирів; заборонено відпуск пального у пластмасові чи скляні посудини; заборонено використання пального для миття рук, промивання обладнання, миття підлоги, прання спецодягу.

Засоби індивідуального захисту

Працівники АЗС повинні забезпечуватись засобами індивідуального захисту, зокрема одягом та взуттям, якими вони повинні обов'язково користуватися під час роботи. Засоби індивідуального захисту повинні бути сертифікованими та мати характеристики відповідно до норм стандартів безпеки праці. Для захисту очей персоналу станції рекомендуються застосовувати захисні окуляри.

У разі потреби для захисту органів дихання потрібно використовувати промислові протигази, які якісно фільтрують повітря та захищають очі від парогазошкідливих речовин. Під час роботи в середині резервуарів, у колодязях та в інших умовах з недостатнім вмістом кисню для захисту органів дихання повинні застосовуватись шлангові або киснево-ізолюючі протигази, а також спеціальні захисні костюми. Перед та після застосування протигази перевіряють на герметичність.

Правила безпечного поводження з паливом

Для уникнення аварійних ситуацій потрібно дотримуватись таких правил зберігання та транспортування нафтопродуктів:

– заливаючи пальне у резервуар залишити не менше 5% об'єму вільним;

– випуск парів пального у навколишнє середовище потрібно здійснювати тільки через деаераційну трубку обв'язку стаціонарного резервуара або спеціальні клапани у автоцистернах;

– будь який витік пального засипається піском або сорбентами;

– розливання нафтопродуктів у канистри чи невеликі металеві бочки можна проводити тільки у приміщення з системою примусової вентиляції.

Безпечні процедури заправки

Для здійснення безпечної заправки транспортного засобу потрібно дотримуватися таких правил:

– двигун транспортного засобу повинен бути вимкненим;

– куріння під час заправки категорично заборонено;

– заправний пістолет повинен бути вставлений у горловину бака;

– після завершення заправки кран-пістолет потрібно повісити на

ПРК.

Процедури аварійного реагування

Працівники АЗС повинні знати види можливих аварій та способи їх ліквідації. Весь персонал заправної станції обов'язково має знати де встановлено пристрій аварійного вимкнення ПРК та вміти при потребі ним скористатися.

У разі появи слідів протікання рукавів потрібно вимкнути ПРК і вмикати тільки після усунення несправностей. У разі проливання нафтопродуктів біля ПРК потрібно негайно зупинити процес заправки авто та засипати пальне піском, після чого усунути його за межі території АЗС. Якщо виявлено витік пального з резервуара, потрібно терміново викликати аварійну службу. Після цього попросити всіх водіїв звільнити територію заправної станції від транспортних засобів.

При виявленні загазованості повітря потрібно провітрити приміщення заправної станції природною вентиляцією, відкривши всі вікна та двері, а також увімкнути пристрій примусової вентиляції і спробувати встановити джерело забруднення.

У разі виникнення пожежі треба викликати пожежників, після чого приступити до гасіння пожежі наявними засобами та залучити до ліквідації інших працівників підприємства.

Про всі небезпечні ситуації чи аварії особа відповідальна за безпеку праці зобов'язана повідомити керівництву підприємства.

13.3 Вплив енергоресурсів на навколишнє середовище

Ступінь впливу ПММ і технічних рідин на навколишнє середовище визначається трьома факторами: хімічним складом, робочою температурою і культурою поводження з ними. Хімічний склад є домінуючим фактором. Він характеризує потенційну здатність ПММ впливати на зовнішнє середовище, а також визначає найбільш екологічно та економічно обґрунтований спосіб утилізації відпрацьованих ПММ. Відомо, що основна причина забруднення повітря полягає у неповному і неефективному згорянні палива. Всього 15...25 % його витрачається на роботу машини, а решта «летить на вітер». У відпрацьованих газах двигуна внутрішнього згорання міститься понад 170 шкідливих компонентів, з них понад 160 – похідні вуглеводнів, які є результатом неповного згорання палива у двигуні. Наявність у відпрацьованих газах шкідливих речовин обумовлено видом і умовами згорання палива. Найбільш шкідливими є оксид вуглецю, вуглеводні та діоксид азоту. Склад відпрацьованих газів залежить від виду палива, що застосовується, присадок і режимів роботи двигуна, його технічного стану та ін. Спалювання палив, що містять вуглеводні з високою молекулярною масою, веде до емісії великої кількості ароматичних та інших вуглеводнів. При спалюванні органічних палив у продуктах їхнього згорання виявлені поліциклічні ароматичні вуглеводні, деякі з яких є канцерогенними.

Встановлено, що людський організм інтенсивно накопичує й утримує бензолірен у дитячому віці та у віці старше 50 років. За характером впливу на організм людини розрізняють дві принципово різних групи вуглеводнів: подразні та канцерогенні. Подразні вуглеводні впливають на центральну нервову систему і слизові оболонки. До них відносять альдегіди, усі граничні і неграничні сполуки вуглецю з воднем, що не належать до ароматичних сполук. Найбільшу небезпеку для людини являють вуглеводневі сполуки канцерогенної групи: 1, 2 – бензантрацен ($C_{18}H_{12}$); 3, 4 – бензпірен ($C_{22}H_{14}$); 1, 2 – бензпірен ($C_{20}H_{12}$); 3, 4 – бензфлуорантен ($C_{20}H_{14}$); 1, 2, 5, 6 – дибензантрацен ($C_{22}H_{14}$); коронен ($C_{24}H_{12}$). Особливо небезпечний 3, 4 – бензпірен, який також називають бенз(о)піреном і який є свого роду індикатором при присутності у суміші інших канцерогенів. Потрапляючи у дихальні шляхи людини, поліциклічні ароматичні вуглеводні поступово накопичуються до критичних концентрацій і стимулюють утворення злоякісних пухлин. Концентрації ПАУ в повітрі вивчені недостатньо. Очевидно, вони не перевищують 10–12...10–14 г/м³. Вуглеводні СН, особливо олефінового ряду, так само як і СНО,

беруть участь в утворенні смогів, що викликають подразнення очей, горла, носа. Розливання і течії нафтопродуктів є значним фактором забруднення повітря, ґрунту, водоймищ. Забруднення водоймищ наносить відчутну шкоду. Тому склад та властивості води в основних джерелах водокористування нормуються. Вплив нафтопродуктів на водоймища проявляється у погіршенні фізичних властивостей води (помутніння, зміна кольору, смаку, запаху); розчинення токсичних речовин у воді; утворення поверхневої плівки нафти та осаду на дні водоймищ; вплив палива та мастила на навколишнє середовище і людину знижують вміст кисню у воді.

Нафта і продукти її переробки, потрапляючи у воду, розтікаються внаслідок гідрофобності по поверхні, утворюючи тонку нафтову плівку, яка переміщується зі швидкістю приблизно у два рази більшою, ніж швидкість течії води. При зіткненні з берегом і прибережною рослинністю нафтова плівка осідає на них. У процесі поширення по поверхні води легкі фракції нафти частково випаровуються, розчиняються, а важкі опускаються в товщу води, осідають на дно і утворюють донне забруднення.

Удосконалення самої техніки і підвищення рівня її технічної готовності за останні 10...15 років зумовили кількісні і якісні зміни композицій мастил. До складу композицій з метою поліпшення їхніх функціональних властивостей почали додавати токсичні індивідуальні компоненти, які характеризуються певними токсикологічними властивостями. Такими компонентами (шкідливими речовинами) є функціональні присадки, що додаються до основ мастил з метою поліпшення протизношувальної, протизадирної (совол, трикрезилфосфат), захисної (бензо-триазол), антиокислювальної (параоксидифеніламин, феніл-а-нафтиламін, іонол) ефективності. До шкідливих речовин відносяться палива і мастила, які при контакті з організмом людини у випадку порушення вимог безпеки, можуть викликати отруєння, професійні захворювання або відхилення у стані здоров'я.

Вимоги безпеки під час експлуатації акумуляторних батарей

Важко уявити життя сучасної людини без електрики. Практично всіх нас оточують прилади що працюють за допомогою електрики, вони неабияк полегшують наше життя. В побуті, роботі, дозвіллі і т.д. ми потребуємо цей винахід людства. В сучасному світі, коли наука широкими кроками рухається вперед, ми можемо мати джерела енергії під рукою в будь-який момент часу. Для цього не потрібно бути прив'язаним до конкретного місця – джерела, і все це завдяки акумуляторним батареям. Всі вони потребують періодичної підзарядки,

в деяких випадках ремонту, що тягне за собою необхідність в їх транспортуванні, адже більшість акумуляторних батарей не є стаціонарними. Неправильне виконання всіх цих операцій може завдати великої шкоди здоров'ю людини яка їх виконує. Щоб попередити це, нижче наведені правила яких необхідно дотримуватись при роботі з акумуляторними батареями [1].

При виконанні робіт з зарядження і ремонту акумуляторних батарей можуть виникати такі основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин (парів кислот, аерозоллю свинцю);

- термічні фактори (вибухи при заряджанні батарей; опіки електролітом, кислотою, розплавленим свинцем).

Ремонт акумуляторних батарей повинен виконуватись в окремих приміщеннях, які оснащені устаткуванням, приладами, пристроями та інструментом згідно з нормативно-технологічною документацією. Роботи з ремонту акумуляторних батарей повинні проводитись при працюючій витяжній вентиляції. Витяжна вентиляція повинна вмикатись перед початком зарядки і вимикатись після повного видалення газів, але не раніше ніж через 1,5 години після закінчення зарядки. Вентиляція зарядного відділення блокується із зарядним пристроєм, тобто при непрацюючій вентиляції зарядний струм до акумуляторних батарей не подається.

Для переміщення акумуляторних батарей в приміщеннях та по території підприємства необхідно користуватись спеціальними візками, платформа яких виключає можливість їх падіння. При перенесенні вручну малогабаритних акумуляторних батарей необхідно використовувати спеціальні пристрої (захвати) і додержуватись застережних заходів, щоб уникнути обливання електролітом.

Готувати кислотний електроліт необхідно в спеціальних посудинах (керамічних, пластмасових тощо), при цьому спочатку необхідно налити дистильовану воду, а потім тонким струменем вливати кислоту. Переливати кислоту із бутлів слід тільки за допомогою спеціальних пристроїв (качалок, сифонів тощо). Переливати кислоту вручну, а також вливати воду в кислоту забороняється. Бутлі з електролітом, кислотою дозволяється переносити тільки на спеціальних ношах або інших пристроях які унеможливають їх падіння, а також перевозити, міцно закріпивши на візках. Пробки на бутлях повинні бути щільно закриті. Всі посудини з електролітом та кислотою повинні мати відповідні написи.

Акумуляторні батареї, що встановлюються для зарядки повинні з'єднуватись між собою тільки проводами з наконечниками які щільно прилягають до клем батарей і виключають можливість іскріння. З'єднувати акумуляторні батареї дротом «закруткою» забороняється. Приєднання та від'єднання акумуляторних батарей має здійснюватися тільки при вимкненому зарядному пристрої. Контроль за ходом зарядки повинен здійснюватись за допомогою спеціальних приладів (термометра, ареометра тощо). Перевіряти акумуляторну батарею коротким замиканням забороняється. Заряджання акумуляторних батарей повинно проводитися тільки при відкритих пробках і включеній витяжній вентиляції. Для огляду акумуляторних батарей необхідно використовувати переносні світильники напругою не більше 42 В [2].

Під час виконання всіх цих операцій можуть виникнути такі небезпечні фактори як хімічні опіки та ураження електричним струмом. У першому випадку під впливом кислот на шкірі з'являються сухі темно-коричневі або чорні чітко окреслені струпи. Під впливом лугів з'являються сіро-брудні струпи, що нечітко окреслені. В такому випадку потрібно виконати наступні дії: спочатку з потерпілого знімають одяг і білизну. В разі опіку кислотою місце опіку промивають сильним струменем води протягом 15-20 хвилин. У разі опіку лужним розчином місце опіку спочатку промивають водою на протязі не менше 15 хвилин, а потім нейтралізуючим розчином.

Нейтралізуючий розчин для кислот – 5-10% розчин питної соди для шкіри тіла і 2-3% розчин питної соди для очей.

Нейтралізуючий розчин для лугів – 5-10% розчин борної кислоти для шкіри тіла і 2-3% розчин борної кислоти для очей.

Потім ці місця закривають чистою марлею або бинтом.

У випадку ураження електричним струмом заходи першої допомоги залежать від стану потерпілого після визволення його від дії електричного струму. Для визначення цього стану необхідно негайно жжити таких заходів:

- покласти потерпілого спиною на тверду поверхню;
- перевірити наявність дихання;
- перевірити наявність пульсу на сонній артерії;
- з'ясувати стан зіниці (вужька чи широка). Широка зіниця вказує

на різке погіршення кровопостачання мозку [3].

Експлуатаційні дефекти

Дефекти АКБ виникають у результаті їх небезпечної експлуатації на автомобілі. Основні порушення пов'язані з нехтуванням контролю за рівнем електроліту та станом електрообладнання. Дефекти

роблять батарею практично непридатною для подальшого використання. Виняток становить тільки акумулятор із обвалюванням активної маси електродів (причому – лише в початковій стадії). Значне утворення шламу (наплив активної маси) призводить до засолення решіток пластин і втрати робоздатності АКБ при увімкненні стартера.

Електроліт в акумуляторах Ventura являє собою розбавлену сірчану кислоту, абсорбовану в скловолоконному сепараторі (AGM) або у вигляді гелю. Під час нормальної експлуатації електроліт не витікає з акумулятора і контакт з ним неможливий. Винятком є випадки витоку електроліту з пошкодженого, тріснутого або розколотого корпусу. Експлуатація акумулятора, що має ознаки витоку електроліту, забороняється. Не відкривайте і не розбирайте акумулятори. Витік електроліту може призвести до хімічних опіків. Якщо електроліт потрапив на шкіру, промийте це місце великою кількістю чистої води. У разі потраплення електроліту в очі, негайно промийте їх великою кількістю чистої води або спеціальним нейтралізуючим розчином. Обов'язково зверніться за медичною допомогою. Не спалюйте акумулятори. Існує ризик вибуху та виділення токсичних продуктів горіння. Після закінчення терміну служби відпрацьовані акумулятори мають бути відправлені на переробку. При роботі з акумуляторами слід вживати заходів обережності проти випадкового дотику до неізольованих струмоведучих частин акумуляторів і батарей. Дотик до струмоведучих частин акумуляторної батареї може призвести до ураження електричним струмом. Під час роботи з акумуляторами застосовуйте засоби особистого захисту: гумові рукавички, окуляри та захисний одяг, включаючи спеціальне взуття. Стелажі з акумуляторами мають бути ізольовані від землі. Якщо напруга шини постійного струму перевищує 60 В, акумулятори потрібно ізолювати від стелажа за допомогою прокладок, стійких до впливу електроліту та аерозолів сірчаної кислоти. Опір ізоляції між струмоведучими частинами акумуляторної батареї та стелажем у високовольтних системах має бути не менше 1 МОм. У складі системи потрібно передбачити відповідні засоби контролю та захисні пристрої. Уникайте короткого замикання на полюсних виводах акумуляторів. Не використовуйте металеві предмети та інструменти, наприклад, металеві щітки для очищення полюсних виводів акумуляторів. Не встановлюйте акумулятори в місцях підвищеної вологості. Під час монтажу батареї використовуйте ізольований інструмент. Перед початком роботи з батареєю зніміть всі металеві аксесуари, такі як окуляри в металевій оправі, годинники, ювелірні прикраси. Під час заряджання свинцево-кислотного акумулятора виділяється горючий, вибухонебезпечний газ – водень.

І хоча обсяг виділення газу в герметизованих акумуляторах дуже малий у порівнянні з акумуляторами, де використовується рідкий електроліт (приблизно у 100 разів менше у порівнянні з акумуляторами аналогічної ємності з рідким електролітом), даний факт необхідно враховувати при організації акумуляторного приміщення та експлуатації батарей зі зв'язаним електролітом. Не розміщуйте акумулятори всередині герметичних контейнерів. Переконайтеся в тому, що приміщення, де розташовані акумулятори, мають належну вентиляцію. Не розміщуйте акумулятори поблизу джерел тепла або полум'я.

В інтересах споживачів продукції, термін її зберігання має бути зведений до мінімуму. Забороняється зберігати акумулятори в розрядженому стані. Зберігайте акумулятори в сухому прохолодному, але захищеному від низьких температур, приміщенні. Акумулятори не слід розміщувати поблизу джерел тепла, наприклад, трансформаторів. Захищайте акумулятори від прямого сонячного випромінювання. Не розміщуйте акумулятори в приміщеннях з високою концентрацією пилу, яка може призвести до поверхневих витоків. Клеми з полюсними виводами акумуляторів мають бути захищені в процесі зберігання від короткого замикання. При розпакуванні акумуляторів та вилученні з транспортної тари не допускайте їх падіння та перекидання. У разі падіння акумуляторів, можлива поява тріщин корпусу та витік електроліту. Деякі моделі акумуляторів мають велику вагу. При переміщенні будьте обережні, щоб уникнути травм. Акумулятори необхідно зберігати повністю зарядженими, на стелажах, у вертикальному положенні, в сухому, прохолодному, захищеному від низької температури приміщенні при температурі навколишнього повітря від +5°C до +20°C. Середньодобовий саморозряд заряджених акумуляторів при температурі навколишнього середовища (20±5)°C не перевищує 0,1%. Термін зберігання акумуляторів Ventura від дати виробництва до першого заряджання (при температурі 20°C) має бути не більше 12 місяців. У разі більш тривалого зберігання акумуляторів, потрібно проводити профілактичну зарядку: кожні 6 місяців при температурі зберігання від 20 до 30°C, кожні 3 місяці при температурі зберігання від 30 до 40°C.

Нетривале зберігання, наприклад, кілька днів при температурі вище рекомендованих значень, істотно не впливає на результуючий допустимий термін зберігання. Однак, якщо тривалий час (місяць і більше) спостерігається підвищена температура навколишнього середовища, то загальний час зберігання акумуляторів без підзарядки має скорочуватися відповідно до цього значення температури. Відстань

від опалювальних приладів та інших джерел тепла має бути не менше 1 м. Акумулятори потрібно захищати від впливу прямого сонячного випромінювання.

Не слід зберігати акумулятори в умовах високої концентрації пилу, що може призвести до поверхневих витоків. Клеми з полюсними виводами акумуляторів мають бути захищені в процесі зберігання від короткого замикання. Небажано використовувати для зберігання батарей приміщення зі значними коливаннями температури або високою вологістю, оскільки це може призвести до утворення конденсату на поверхні акумуляторів. Конденсат або опади не впливають на самі акумулятори, але можуть призвести до корозії полюсних виводів або підвищення сили струму саморозряду.

Вимірювання напруги в процесі зберігання необхідно для збереження характеристик і терміну служби, рекомендується періодично повністю заряджати акумулятори, які будуть зберігатися тривалий час. Рекомендований для цього метод називається «Профілактичне заряджання». Виконайте вимірювання напруги холостого ходу окремих елементів або блоків. Повністю заряджені елементи/блоки повинні мати значення напруги в стані спокою при температурі $20^{\circ}\text{C} > 2,14$ В/ел. При цьому, відмінність між напругою холостого ходу окремих блоків на 6 В має бути не більше 0,12 В, а відмінність між х.х. окремих блоків на 12 В має бути не більше 0,24 В. Якщо виміряне значення напруги холостого ходу становить менше 2,11 В/ел для акумуляторів з абсорбованим електролітом за технологією AGM і менше 2,07 В/ел для акумуляторів з гелеподібним електролітом, слід провести підзаряджання для забезпечення вирівнюючого заряду.

Контрольні питання до розділу 13

1. Як транспортна галузь впливає на екологію?
2. Назвіть основні правила безпеки при роботі з паливороздавальним обладнанням.
3. Який вплив паливномастильні матеріали мають на навколишнє середовище?
4. Який вплив акумулятори мають на навколишнє середовище?

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ДЛЯ
КОРИСТУВАННЯ ЛІТЕРАТУРИ**

1. World Energy Outlook – 2023, OECD/IEA, Paris.
2. Корнілов М.Ю. Термінологічний посібник з хімії. / М.Ю. Корнілов, О.І. Білодід, О.А. Голуб – К.: ІЗМН, 1996. – 256 с.
3. Яцимирський К.Б., Яцимирський В.К. Хімічний зв'язок. / К.Б. Яцимирський, В.К. Яцимирський – К.: Вища шк., 1993. – 309 с.
4. Луцевич Д.Д. Конспект-довідник з хімії./ Д.Д. Луцевич, О.В. Березан – К.: Вища шк., 1997. – 240 с.
5. Паливно-мастильні матеріали та інші експлуатаційні матеріали. Навчально-методичний комплекс. І.М. Бендера, В.І. Дуганець, М.І. Кизима, та ін. /за ред. І.М. Бендера, В.І. Дуганця. – Кам'янець – Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2016. - 420 с. Режим доступу: http://www.tsatu.edu.ua/tkm/wp-content/uploads/sites/11/144_posybnuk.pdf
6. Бойченко С. В., Іванов С. В., Бурлака В. Г. Моторні палива і масла для сучасної техніки: монографія. Київ: НАУ, 2015. 216 с. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/38010>
7. Бойченко С. В., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та оливо: навчальний посібник. Одеса: Астропринт, 2009. Ч.1. 236 с. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/39106>
8. Моторні палива: властивості та якість [текст] підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимир Лейда; за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К. : «Центр учбової літератури», 2017. – 324 с. Режим доступу: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/39105>
9. Карпинець А. П. Лекції з курсу «Використання експлуатаційних матеріалів та економія паливно-енергетичних ресурсів»: навч. посібник. Горлівка, 2014. 107 с. Режим доступу: https://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/27470/2/%D0%92%D0%95%D0%9C_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82.pdf
10. Чабанний В. Я., Магопєць С. О., Мажейка О. Й. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення: навч. посібн. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.1. 3 53 с. Режим доступу: https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabannyi/Chabannyi_Pal_mast_Mater_kn1.pdf
11. Чабанний В. Я., Магопєць С. О., Осипов І. М. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення: навч. посібн. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. ч.2.

- 500 с. Режим доступу:
https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabannyi/Chabannyi_Pal_mast_Mater_kn2.pdf
12. Сизова З.О. Конспект лекцій з дисципліни «Хімотологія»: навч. посібн. Харків, 2013. 83 с. <https://docplayer.net/amp/111468418-Konspekt-lekciy-z-disciplini-himotologiya.html>
 13. Інструкція про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і в організаціях України. 2008 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0805-08#Text>
 14. Airplane Power Plants Systems Designing [Text] : synopsis / V. F. Shmyrov, R. U. Tsukanov, A. I. Ryzhenko, V. D. Pehterev. — Kharkiv: National Aerospace University «KhAI», 2010. — 220 с.
 15. NATO Standard STANAG 3447 Aerial refuelling equipment dimensional and functional characteristics
 16. A Study of Helicopter Crash-Resistant Fuel Systems [Text] / Final Report. — US Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2002. — 170 p.
 17. Johnson, N. B. Aircraft Crash Survival Design Guide, Volume V – Aircraft Postcrash Survival [Text] / N. B. Johnson, S. H. Robertson, D. S. Hall. — Report No. USAAVSCOM TR 89-D-22E, US Army Aviation Research and Technology Activity (AVSCOM), Fort Eustis, Virginia, December, 1989. — 205 p.
 18. Linke-Diesinger, Andreas. Systems of Commercial Turbofan Engines. An Introduction to System Functions [Text] / Andreas Linke-Diesinger. — Berlin: Springer, 2008. — 230 p.
 19. Otis, Charles. Aircraft Gas Turbine Powerplants [Text] / Charles E. Otis, Peter A. Vosbury. — Frankfurt : Jeppesen Sanderson, Inc., 2002. — 515 с.
 20. Treager, Irwin. Aircraft Gas Turbine Engine Technology, Third Edition [Text] / Irwin E. Treager. — New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1996. — 677 p.
 21. ГСТУ 320.00149943.007-97. Паливо для реактивних двигунів «РТ». [Чинний від 1997-06-15]. Держнафтогазпром України, 1997. 19 с. (Галузевий стандарт України).
 22. ГСТУ 320.00149943.011-99. Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. [Чинний від 1999-07-01]. Держнафтогазпром України, 1999. 27 с. (Галузевий стандарт України).
 23. ДСТУ 4796:2007. Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів ДЖЕТ А-1. [Чинний від 2007-10 -01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 8 с. (Національний стандарт України). Режим

доступу:

https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU2/dstu_4796-2007.pdf

24. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ: УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94717
25. ДСТУ 7688:2015. Паливо дизельне євро. Технічні умови. [Чинний від 2016-01 -01]. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 15 с. (Національний стандарт України). Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62099
26. Інструкція про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і в організаціях України. 2008 р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0805-08#Text>
27. Наказ від 08.12.2016 № 662 Про затвердження Інструкції з контролю якості пально-мастильних матеріалів та спеціальних рідин у державній авіації України/ Верховна Рада України. Чинний від 17.02.2017. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0060-17#Text>
28. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Підручник. К.: НТУУ КПІ, 2012.
29. Звіт Global Bioenergy Statistics 2021, World Bioenergy Association - worldbioenergy.org
30. Міжнародне Енергетичне Агентство - iea.org
31. <https://dieret.rea.org.ua/uk/biomass-energy.html>
32. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2010–2014 Update Report. World Geothermal Congress 2015. (19–25 April 2015, Melbourne, Australia). <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2015/01001.pdf>.
33. World Geothermal Congress 2015. Media Portal. <http://www.geothermalpress.com/>.
34. Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation. The World Bank. Technical Report 002/12, 72828. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). <http://documents.worldbank.org/curated/en/396091468330258187/pdf/728280NWP0Box30k0TR0020120Optimized.pdf>.
35. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/109877/10-Dolinskiy.pdf?sequence>

36. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Схвалена Розпорядженням КМУ №1071 від 24.07.2013.
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13/paran3#n3>
37. Закон України «Про ринок електричної енергії»
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
38. EU Energy in Figures. Statistical Pocketbook 2014.
39. Матеріали Міжнародної Асоціації централізованого енергопостачання (International District Energy Association)
<http://www.districtenergy.org/blog/2015/07/14/13939/energiewende-2050-targets-schope-2015-chart/>
40. Renewables 2015. Global Status Report <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>
41. IRENA (2014), REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap, June 2014.
http://www.irena.org/remap/IRENA_REmap_Report_June_2014.pdf
42. RE-Thinking 2050. A 100% Renewable Energy Vision for the European Union. EREC, 2010.
http://www2.warwick.ac.uk/fac/soc/csgr/green/foresight/energyenvironment/2010_erec_rethinking_2050.pdf
43. World Energy Scenarios. Composing energy futures to 2050. Prepared by World Energy Council, 2013.
44. <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/World-Energy-Scenarios-Composing-energy-futures-to-2050-Full-report.pdf>
45. Енергетичний баланс України за 2019 рік. Експрес-випуск Державної служби статистики України від 28.11.2019 № 510/0/08.4вн-14.
46. Постанова КМУ № 902-р від 01.10.2104 «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року»
<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80>
47. Energy Strategy 2050 - from coal, oil and gas to green energy (Denmark), 2011. <http://www.efkm.dk/sites/kebm.dk/files/news/from-coal-oil-and-gas-to-green-energy/Energ%20Strateg%202050%20web.pdf>
48. Кузьмінський Є.В., Колбасов Г.Я., Тевтуль Я.Ю., Голуб Н.Б. Нетрадиційні електрохімічні системи перетворення енергії. Фото-, термо- та біопаливні елементи. – Чернівці: Рута. – 2003. – 95 с.
49. Кузьмінський Є.В., Гвоздяк П.І., Голуб Н.Б. Біопаливні елементи – проблеми і перспективи розвитку. 1. Ферментні паливні елементи // Мікробіологія і біотехнологія. – 2008. – №3. – С. 21–30.
50. Кузьмінський Є.В., Щурська К.О. Біоелектрохімічне генерування водню в мікробному паливному елементі. 1. Загальна частина // Відновлювана енергетика. – 2010. – №4(23). – С. 87–97.

51. Кузьмінський Є.В., Голуб Н.Б., Лесько І.О. Електрохімічні аспекти біоенергетики // Відновлювана енергетика. – 2006. – №3. – С. 87–93.
52. Заявка на корисну модель №201006778 "Спосіб отримання електричної енергії за допомогою мікробного паливного елемента" Голуб Н.Б., Кузьмінський Є.В., Андруховець В.М., дата подання 01.06.2010, позитивне рішення від 01.11.2010.
53. O'Hayre R., Cha S-W., Colella W., Prinz B. F. Fuel Cell Fundamentals. – John Wiley & Sons, Hoboken, NJ. – 2009. – 576 p.
54. Васильєв О.Д., Баклан В.Ю., Макордей Ф.В. Керамічні паливні комірки: український досвід // Вісник Одеського національного університету. – 2010. – Хімія. – Т. 15, вип. 3. – С. 98–106.
55. Перфильев М.В., Демин А.К., Кузин Б.Л., Липилин А.С. Високотемпературний електроліз газів. – М.: Наука. – 1988. – 232 с.
56. Мельник Л.Г., Карінцева О.І., Сотник І.М. Економіка енергетики: Навч. посібник. - Суми: ВТД „Університетсь- ка книга”, 2006. – 238 с.
57. Renewables 2015. Global Status Report <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>
58. IRENA (2014), REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap, June 2014. http://www.irena.org/remap/IRENA_REmap_Report_June_2014.pdf
59. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. COM(2011) 112 final, 8.3.2011 <http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5db26ecc-ba4e-4de2-ae08-dba649109d18.0002.03/D0C1&format=PDF>
60. Technology Roadmap Smart Grids. – Paris: OECD/IEA, 2011. – 52 p.
61. Smart Grids and Energy Storage Bottled Sunlight [Електронний ресурс] // Pictures of the Future. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/energy-and-efficiency/smart-grids-and-energy-storage-bottled-sunlight.html>.
62. World's Largest Fuel Cell Plant Opens in South Korea [Електронний ресурс] // Power. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.powermag.com/worlds-largest-fuel-cell-plant-opens-in-south-korea/>.
63. SDG&E and Sumitomo unveil largest vanadium redox flow battery in the US [Електронний ресурс] // Energy Storage. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.energy-storage.news/news/sdge-and-sumitomo-unveil-largest-vanadium-redox-flow-battery-in-the-us>.
64. A Hybrid Approach to Energy Storage [Електронний ресурс] //

- Electronic Design. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.electronicdesign.com/power/hybrid-approach-energy-storage>.
65. Creating renewable energy storage out of hot air [Електронний ресурс] // New atlas. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://newatlas.com/ricas-2020-aa-compressed-air-energy-storage/48661/>.
 66. Hybrid energy storage systems for renewable energy applications. // ELSEVIER. – 2015. – №73. – С. 103–111.
 67. A novel use of the hybrid energy storage system for primary frequency control in a microgrid / [L. Jianwei, Y. Qingqing, Y. Pengfei та ін.]. // ELSEVIER. – 2016. – №103. – С. 82–87.
 68. Wenlong J. Battery-supercapacitor hybrid energy storage system in standalone DC microgrids: areview / J. Wenlong, H. Chean, H. Shung. // IEEE. – 2017. – №11. – С. 461 – 469.
 69. Design and new control of DC/DC converters to share energy between supercapacitors and batteries in hybrid vehicles / M. Camara, H. Gualous, F. Gustin, A. Berthon. // IEEE. – 2008. – №57. – С. 2721–2735.
 70. Jiang Z. A compact digitally controlled fuel cell/battery hybrid power source / Z. Jiang, R. Dougal. // IEEE. – 2006. – №53. – С. 1094–1104.
 71. Hybrid energy storage systems and control strategies for stand-alone renewable energy power systems / [L. Chong, Y. Wong, R. Rajkumar та ін.]. // ELSEVIER. – 2016. – №66. – С. 174–189.
 72. Modelling and Simulation of Standalone PV Systems with Battery-supercapacitor Hybrid Energy Storage System for a Rural Household / W. C. Lee, W. W. Yee, K. R. Rajprasad, I. Dino. // ELSEVIER. – 2016. – №107. – С. 232–236.
 73. Нерубацький В. П., Палхтій О. А., Машура А. В., Гордієнко Д. А. Аналіз технічних характеристик акумуляторних батарей і систем заряджання електромобілів Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті ІКСЗТ, 2019 №6 с. 11-19.
 74. В.А. Маляренко, Л.В. Лисак Енергетика, довкілля, енергозбереження. / Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка, Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.
 75. The Future of Hydrogen Seizing today’s opportunities, IEA, 2019.
 76. Solar Panel Splits Water to Produce Hydrogen, <https://spectrum.ieee.org>, Mar’19.
 77. Japan team evaluates battery-assisted low-cost hydrogen production from solar energy, <https://www.greencarcongress.com>, Feb’19.
 78. <https://avenston.com/articles/hydrogen-future/>
 79. <https://e-auto.in.ua>

80. <https://sp-rent.com.ua/news/358-xcmg-vypuskaet-bes-pilotnyy-elektricheskyy-karernyy-samosval.html>
81. <https://avenston.com/solutions/bess/>
82. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2019.23.106>
83. <https://www.railway.supply/uk/akumulyatorna-tyaga-na-zalniczki/>
84. <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES2.pdf>
85. <https://uhe.gov.ua/diyalnist/gidroenergetika>
86. <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-4>
87. ISO 5164:2014 Petroleum products – Determination of knock characteristics of motor fuels – Research method (Нафтопродукти. Визначення детонаційних характеристик моторних палив. Дослідний метод)
88. ASTM D2699-13b Standard test method for research octane number of spark-ignition engine fuel (Стандартний метод визначення октанового числа дослідним методом палива для двигунів внутрішнього згоряння)
89. ISO 5163:2014 Petroleum products – Determination of knock characteristics of motor and aviation fuels – Motor method (Нафтопродукти. Визначення детонаційних характеристик моторних та авіаційних палив. Моторний метод)
90. ASTM D2700-13b Standard test method for motor octane number of spark-ignition engine fuel (Стандартний метод визначення октанового числа моторним методом палива для двигунів внутрішнього згоряння)
91. ASTM D5482-07(2013) Standard test method for vapor pressure of petroleum products (mini method-atmospheric) (Стандартний метод визначення тиску пари (міні-метод за атмосферного тиску))
92. ASTM D323-08 Standard test method for vapor pressure of petroleum products (Reid method) (Стандартний метод визначення тиску насиченої пари нафтопродуктів (метод Рейда))
93. EN 237:2004 Liquid petroleum products – Petrol – Determination of low lead concentrations by atomic absorption spectrometry (Нафтопродукти рідинні. Бензин. Визначення низьких концентрацій свинцю методом атомно-абсорбційної спектроскопії)
94. ASTM D1298-12b Standard test method for density, relative density, or API gravity of crude petroleum and liquid petroleum products by hydrometer method (Стандартний метод визначення густини, відносної густини або густини в градусах API сирої нафти та рідких нафтопродуктів ареометром)
95. ASTM D4052-11 Standard test method for density, relative density and

- API gravity of liquids by digital density meter (Стандартний метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах API рідин цифровим густинометром)
96. EN ISO 3405:2011 Petroleum products – Determination of distillation characteristics at atmospheric pressure (Нафтопродукти. Визначення фракційного складу за атмосферного тиску)
 97. Авіаційні паливні системи: підручник / С. В. Єпіфанов, О. І. Риженко, Р. Ю. Цуканов. — Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. С. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. — 544 с.
 98. EN ISO 20846:2011 Petroleum products – Determination of sulfur content of automotive fuels – Ultraviolet fluorescence method (ISO 20846:2011) (Нафтопродукти. Визначення вмісту сірки в автомобільних паливах. Метод ультрафіолетової флуоресценції)
 99. EN ISO 13032:2012 Petroleum products – Determination of low concentration of sulfur in automotive fuels – Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometric method (ISO 13032:2012) (Нафтопродукти. Визначення низької концентрації сірки в автомобільних паливах. Метод рентгенофлуоресцентної спектроскопії з дисперсією за енергією)
 100. ASTM D4294-10 Standard test method for sulfur in petroleum and petroleum products by energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry (Стандартний метод визначення вмісту сірки в нафті та нафтопродуктах методом енергодисперсійної рентгеновської флуоресцентної спектроскопії)
 101. ISO 22854:2014 Liquid petroleum products – Determination of hydrocarbon types and oxygenates in automotive-motor gasoline and in ethanol (E85) automotive fuel – Multidimensional gas chromatography method (Нафтопродукти рідкі. Визначення типів вуглеводнів та кисневмісних складників у бензині для двигунів внутрішнього згоряння та в етанольному (E85) автомобільному паливі. Метод багатовимірної газової хроматографії)
 102. EN 15553:2007 Petroleum products and related materials – Determination of hydrocarbon types – Fluorescent indicator adsorption method (Нафтопродукти рідинні та похідні речовини. Визначення типів вуглеводнів методом адсорбції з флуоресцентним індикатором)
 103. ASTM D6729-04(2009) Standard test method for determination of individual components in spark ignition engine fuels by 100 meter capillary high resolution gas chromatography (Стандартний метод визначення індивідуальних компонентів палива для двигунів внутрішнього згоряння за допомогою ефективної газової

- хроматографії на 100-метровій капілярній колонці)
104. ASTM D6730-01 (2011) Standard test method for determination of individual components in spark ignition engine fuels by 100-metre capillary (with precolumn) high-resolution gas chromatography (Стандартний метод визначення індивідуальних компонентів палива для двигунів внутрішнього згоряння за допомогою ефективної газової хроматографії на 100-метровій капілярній колонці (з передколонукою))
 105. ASTM D1319-10 Standard test method for hydrocarbon types in liquid petroleum products by fluorescent indicator adsorption (Стандартний метод визначення типів вуглеводнів у рідких нафтопродуктах за допомогою флуоресцентного адсорбційного індикатора)
 106. СОУ МПЕ 23.2.004:2006 Визначення бензолу, толуолу, етилбензолу, п/м-ксилолів, о-ксилолу, С9 і більш висококиплячих вуглеводнів та загального їх вмісту в бензині методом газової хроматографії
 107. ASTM D5580-13 Standard test method for determination of benzene, toluene, ethylbenzene, p/m-xylene, o-xylene, C9 and heavier aromatics, and total aromatics in finished gasoline by gas chromatography (Стандартний метод визначення бензолу, толуолу, етилбензолу, п/м-ксилолу, о-ксилолу, С9 і більш висококиплячих ароматичних вуглеводнів та загального їх вмісту в товарному бензині методом газової хроматографії)
 108. ASTM D4815-13 Standard test method for determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, tertiary- amyl alcohol and C1 to C4 alcohols in gasoline by gas chromatography (Стандартний метод визначення вмісту в бензині МТБЕ, ЕТБЕ, ТАМЕ, ДІПЕ, трет-амілового спирту та спиртів від С1 до С4 за допомогою газової хроматографії)
 109. ASTM D5845-01(2011) Standard test method for determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, methanol, ethanol and tert-butanol in gasoline by infrared spectroscopy (Стандартний метод визначення МТБЕ, ЕТБЕ, ТАМЕ, ДІПЕ, метанолу, етанолу, третичного бутилового ефіру в бензині за допомогою інфрачервоної спектроскопії)
 110. EN 16135:2011 Automotive fuels – Determination of manganese content in unleaded petrol – Flame atomic absorption spectrometric method (FAAS) (Палива автомобільні. Визначення вмісту марганцю в нестилованому бензині методом полуменевої атомно-адсорбційної спектрометрії (ПААС))
 111. EN 16136:2011 Automotive fuels – Determination of manganese

- content in unleaded petrol – Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES) method (Палива автомобільні. Визначення вмісту марганцю в нестилованому бензині методом індуктивно зв'язаної плазмової оптико-емісійної спектрометрії (ІЗП ОЕС)) 14 ДСТУ 7687:2015
112. EN ISO 7536:1996 Gasoline – Determination of oxidation stability of gasoline – Induction period method (ISO 7536:1994) (Бензини. Визначення окиснювальної стабільності. Метод індукційного періоду)
 113. ASTM D525-12a Standard test method for oxidation stability of gasoline (induction period method) (Стандартний метод визначення окиснювальної стабільності бензину (метод індукційного періоду))
 114. ASTM D873-12 Standard test method for oxidation stability of aviation fuels (potential residue method) (Стандартний метод визначення стабільності до окиснення авіаційних палив (метод потенційного залишку))
 115. EN ISO 6246:1997 Petroleum products – Gum content of light and middle distillate fuels – Jet evaporation method (ISO 6246:1997) (Нафтопродукти. Вміст смоли в легких та середніх дистилятних паливах. Метод струменевого випаровування)
 116. ASTM D381-12 Standard test method for gum content in fuels by jet evaporation (Стандартний метод визначення смоли в паливах за допомогою струменевого випаровування)
 117. ASTM D130-12 Standard test method for corrosiveness to copper from petroleum products by copper strip test (Стандартний метод визначення корозійної агресивності до міді нафтопродуктів пробою на мідну пластинку)
 118. ПУЕ:2011 Правила улаштування електроустановок
 119. Порядок проведення спеціального навчання працівників суб'єктів перевезення небезпечних вантажів, затверджений постановою КМУ від 31.10.2007 № 1285
 120. Порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затверджений наказом МОЗ України від 21.05.07 № 246 ОСТ 51-65-80 Конденсат газовій стабільній. Технічні умови.
 121. Aspects of implementation of intelligent control systems at infrastructure, energy and transport facilities. Monograph / S. M. Boiko, Kasatkina I. V., Beridze T. M., Zhukov O. A., Nozhnova M. O. – Warsaw: iScience Sp. z.o.o. – 2024. – 204 p.
 122. Джерела живлення, накопичення електричної енергії та альтернативні енергоресурси для транспортних засобів.

- Навчальний посібник / І.В. Касаткіна, С.М. Бойко, С.Я. Вишневський – Варшава: iScience Sp. z.o.o. – 2023. – 140 с.
123. Бойко С.М., Касаткіна І.В., Данілін О.В. Аспекти ре- конфігурації систем електропостачання при впровадженні джерел розосередженої генерації в умовах розподільчих мереж підприємств. Вісник Криворізького національного університету. Випуск 56. Кривий ріг 2023 С. 191-195.
 124. Сінчук О. М., Бойко С. М., Жуков О. А., Сьомочкін А.Б., Риков Г. Ю. Аналіз сучасного стану та перспектив коригування енергетичного балансу підприємств гірничовидобувної галузі. Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2021. - №4. – С. 56-61.
 125. С. М. Бойко, О. Б. Котов, Д. М. Обідін, С. О. Романюк До питання розвитку транспортних перевезень у регіональному аспекті. Вісник машинобудування та транспорту №1(17), 2023. - ВНТУ, Вінниця, 2023. С. 9-16.
 126. С. Бойко, В. Щокін, С. Вишневський, О. Данілін, О. Гусарова Аспекти декарбонізації системи електропостачання в умовах промислових підприємств. Вісник Хмельницького національного університету. № 2, 2023: С. 369-373.
 127. Бойко С. М, Касаткіна І. В., Берідзе Т. М., Жуков О. А., Бомбик В. С. Потенціал сонячної енергетики в умовах промислових агломерацій України. Вісник Хмельницького технічного університету. Серія «Технічні науки». 2023. № 4. С. 36-45.
 128. С. Бойко, О. Котов, Ю. Кривих, С. Вишневський, С. Гвоздзік До питання розбудови інфраструктури авіаційної галузі в енергетичному аспекті. Вісник Хмельницького національного університету, No1,2024(331): С. 191-195.
 129. Бойко С. М., Жуков О. А. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 122254 UA. Метод визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах авіаційних підприємств / Державна організація «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій». Дата реєстрації від 22 грудня 2023 р.
 130. Бойко С.М., Сінчук І.О. Системи накопичення електричної енергії Підручник під ред. доктора технічних наук, професора О.М. Сінчука. – Кривий Ріг, 2020. – 220 с.
 131. Бойко С., Моїсеева В., Піскун Д. Екологічні аспекти застосування відновлюваних джерел енергії у транспортній галузі Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії

- на навколишнє середовище [Електронне видання] : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (Івано-Франківськ, 24-25 листопада 2022 р.) / за заг. ред. проф. Я. О. Адаменка.– Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2022. – С. 147-149.
132. Boiko S., Shmelev Y., Chorna V., Nozhnova M. Research of the Reliability of the Electrical Supply System of Airports and Aerodromes Using Neural Networks. Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries. Shmelova T., Sikirda Y., Sterenharz A. – USA, IGI Global, 2020. – 279-305 с.



Бойко Сергій Миколайович 1987 р. народження.

У 2011 р. закінчив Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, у 2020 р. закінчив Національний авіаційний університет, кандидат технічних наук (2014 р.), доцент (2023 р.).

З 2022 р. доцент кафедри Транспортні технології Національного університету «Запорізька політехніка».

Автор більше 200 науково-методичних праць, у т.ч. 22 патентів та 5 авторських свідоцтв, 11 навчальних посібників та 12 монографій.



Касаткіна Ірина Віталіївна 1951 р. народження.

У 1973 р. закінчила Криворізький ордена Трудового Червоного Прапора гірничорудний інститут, кандидат технічних наук (1992 р.), доцент (1993 р.).

З 2011 – доцент кафедри Автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті ДВНЗ «Криворізький національний університет». Автор майже 100 науково-методичних праць.



Жуков Олексій Анатолійович, 1984 р. народження.

У 2006 р. закінчив Вінницький національний технічний університет.

Кандидат технічних наук (з 2012 р.), доцент (з 2023 р.).

З 2015 р. працює на посаді доцента кафедри комп'ютеризованих електро-механічних систем та комплексів

Вінницького національного технічного університету.

Автор понад 70 наукових і навчально-методичних праць.



Реута Алла Володимирівна 1983 р. народження.

У 2005 р. закінчила Дніпродзержинський державний технічний університет.

З 2006 р. викладач вищої категорії, викладач-методист Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ.

Автор близько 30 науково-методичних праць.



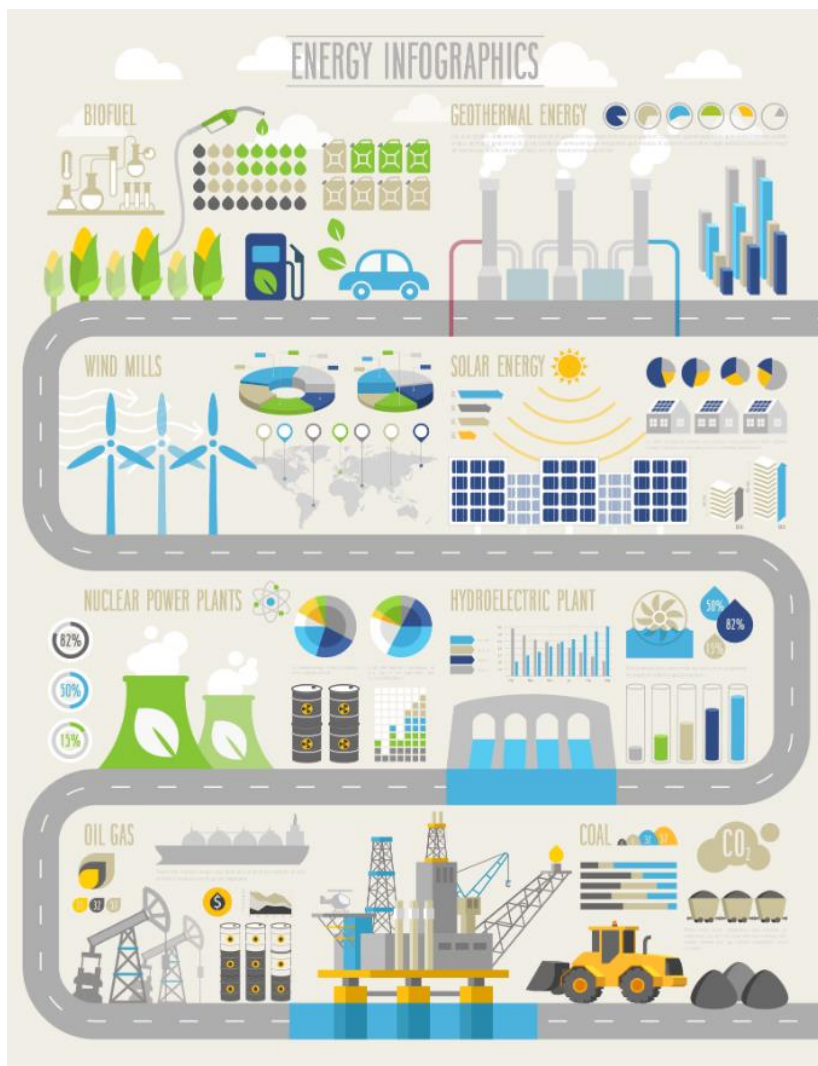
Лапіна Олександра Сергіївна 1995 р. народження.

У 2019 р. закінчила Національний авіаційний університет.

Має практичний досвід у галузі авіаційної безпеки міжнародних аеропортів та охорони представництв іноземних держав.

З 2024 року т.в.о. заступника директора з авіаційної безпеки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС».

Автор близько 10 наукових праць.



Навчальне видання

Бойко Сергій Миколайович
Касаткіна Ірина Віталіївна
Жуков Олексій Анатолійович
Реута Алла Володимирівна
Лапіна Олександра Сергіївна

ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Навчальний посібник

Subscribe to print 25/10/2024. Format 60×90/16.

Edition of 300 copies.

Printed by “iScience” Sp. z o. o.

Warsaw, Poland

08-444, str. Grzybowska, 87

info@sciencecentrum.pl, <https://sciencecentrum.pl>



ISBN 978-83-68188-14-1



9 788368 188141