



Зеленько Ю.В., Капіца М.І., Безовська М.С.,
Богомолів А.Р., Крячко О.В.

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ. Екологічні аспекти екіпірування рухомого складу залізниць

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Ю. В. Зеленько, М. І. Капіца,
М. С. Безовська, А. Р. Богомолів,
О. В. Крячко

Техноекологія.
Екологічні аспекти екіпірування
рухомого складу залізниць

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ДНІПРО
2024

УДК 504.61:629.4(075.8)

Т 38

Авторський колектив:

Зеленько Ю. В., Капіца М. І., Безовська М. С., Богомолів А. Р., Крячко О. В.

Рекомендовано Радою якості освітньої діяльності УДУНТ
Протокол № 14 від 27.06.2024 р.

Т 38 Техноекологія. Екологічні аспекти екіпірування рухомого складу залізниць : навч. посіб. для студентів усіх форм навчання освітнього ступеня «бакалавр» за ОПП «Екологічний менеджмент інфраструктури і транспорту» спеціальності 101 «Екологія» та «Локомотиви та локомотивне господарство» спеціальності 273 «Залізничний транспорт» / Ю. В. Зеленько, М. І. Капіца, М. С. Безовська, А. Р. Богомолів, О. В. Крячко ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 171 с.

ISBN 978-617-8314-22-4 (PDF)

Навчальний посібник «Екологічні аспекти екіпірування рухомого складу залізниць» призначений для студентів усіх форм навчання освітнього ступеня «бакалавр» за ОПП «Екологічний менеджмент інфраструктури і транспорту» спеціальності 101 «Екологія», а також «Локомотиви та локомотивне господарство» спеціальності 273 «Залізничний транспорт».

В посібнику розкрито базові питання організації процесів екіпірування рухомого складу залізниць з урахуванням сучасних екологічних підходів та євроінтеграції. Наведено принципи класифікації, ідентифікації та номенклатури основних матеріалів для екіпірування локомотивів. Надані технологічні та організаційні рекомендації до етапів обслуговування рухомого складу залізниць. Детально проаналізовано сучасні інноваційні підходи до раціонального використання матеріалів та ресурсозбереження.

Іл. 38, табл. 25, бібліогр. 51 назв.

УДК 504.61:629.4(075.8)



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons

[«Attribution-NonCommercial-NoDerivatives» 4.0 International \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
(«Із зазначенням авторства – Некомерційна – Без Похідних» 4.0 Міжнародна)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ № 1. ПАЛИВО	7
1. Класифікація, склад і властивості палива -----	7
1.1 Класифікація палива	8
1.2 Склад палива.....	8
1.3 Властивості палива	10
1.4 Поняття про маси палива та методи перерахунку	12
2. Процес горіння та теплота згоряння палива -----	16
2.1 Поняття про процес горіння палива	16
2.2 Особливості горіння різних видів палива.....	17
2.3 Теплота згоряння	22
2.4 Умовне паливо та паливні еквіваленти	24
3. Тверде паливо -----	25
3.1 Різновиди твердого палива.....	25
3.2 Властивості вугілля та його класифікація	26
3.3 Видобуток вугілля	28
3.4 Штучне тверде паливо	28
3.5 Технологія зберігання вугілля.....	30
4. Рідке паливо -----	30
4.1 Фізичні властивості нафти	30
4.2 Хімічний склад і властивості нафти.....	32
4.3 Методи переробки нафти.....	33
4.5 Основні види нафтопродуктів, які отримують при переробці нафти.....	35
4.6 Класифікація рідкого палива.....	35
4.7 Дизельне паливо	37
4.8 Котельне паливо	41
4.9 Отримання штучного рідкого палива з твердого палива	43
5. Газоподібне паливо -----	43
5.1 Види газоподібного палива та його переваги.....	43
5.2 Природний газ, його склад та властивості.....	44
5.3 Штучні гази.....	44
6. Розрахунок витрати палива-----	46
6.1 Норми витрати палива	46
6.2 Нормування витрат електричної енергії і дизельного палива	47
6.3 Фактори, що впливають на витрату енергії на тягу поїздів.....	48
6.4 Визначення витрати палива на ведення поїзда	49
6.5 Технічне нормування витрат палива та електроенергії.....	51
7. Зберігання палива -----	53
7.1 Зберігання нафтопродуктів	53
7.2 Техніка безпеки під час зберігання нафтового палива	54

Контрольні питання до розділу 1	56
РОЗДІЛ № 2. МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ	57
1. Основні положення теорії змащування	57
1.1 Концепція тертя. Види тертя	57
1.2 Сухе тертя	57
1.3 Рідинне тертя	59
1.4 Коефіцієнт рідинного тертя	60
2. Класифікація та методи отримання мастильних матеріалів	61
2.1 Класифікація мастильних матеріалів	61
2.2 Методи отримання мастильних матеріалів	63
2.3 Основні фізико-хімічні властивості олив	66
2.4 Присадки до олив	67
3. Мінеральні оливи (нафтові)	68
3.1 Осьові оливи	68
3.2 Індустріальна оливи	70
3.3 Компресорні оливи	71
3.4 Дизельні оливи	72
3.5 Турбінні оливи	81
4. Консистентні та пластичні мастила	81
4.1 Призначення та склад консистентних мастил	81
4.2 Класифікація консистентних мастил	82
4.3 Фізико-хімічні властивості консистентних мастил	83
4.4 Консистентні мастила, що застосовуються на локомотивах	84
4.5 Змащування електроапаратури	84
5. Норми витрати мастильних матеріалів для рухомого складу залізниць	85
Контрольні питання до розділу 2	86
РОЗДІЛ № 3 ВОДА	87
1. Основні властивості води	87
1.1 Значення води	87
1.2 Різновиди природних вод	87
1.3 Фізико-хімічні властивості води	88
1.4 Способи усунення твердості води	89
1.5 Накип та його утворення	91
1.7 Вимоги до якості води	94
1.8 Очистка води	94
1.9 Пом'якшення води	95
1.10 Сутність хімічного знесолення води	98
1.11 Основні робочі процеси іонообмінної установки	99
1.12 Домішки у воді, що впливають на роботу іонообмінних смол	100
1.13 Вибір оптимальної технології іонообмінного очищення	100
1.14 Охолоджувальна вода для двигунів тепловозів	103

Контрольні питання до розділу 3.....	104
РОЗДІЛ № 4 ПІСОК.....	105
1. Основні вимоги до піску-----	105
2. Зберігання піску -----	108
Контрольні питання до розділу 4.....	108
РОЗДІЛ № 5 Особливості впливу залізниці на навколишнє природне середовище.....	109
1. Мастильні матеріали-----	109
1.1 Методики оцінки якості моторних оливок	109
1.2 Особливості утворення оливокних відходів на підприємствах транспортної інфраструктури та їх токсичні властивості.....	114
1.3 Загальні принципи поводження з нафтовміщуючими відходами на залізничному транспорті	118
1.4 Основні методи регенерації відпрацьованих оливок.....	121
2. Атмосферне повітря -----	130
2.1 Аналіз методів еколого-економічного регулювання впливу залізничного транспорту на атмосферу	130
2.2 Сучасний європейський досвід у сфері екологічного контролю експлуатаційного процесу	134
2.3 Специфіка експлуатації тепловозних двигунів	136
2.4 Процеси спалювання палива та перетворення шкідливих викидів у атмосферному повітрі	140
2.5 Методи визначення валових викидів при спалюванні палива.....	143
2.6 Принципи удосконалення методики визначення кількості шкідливих викидів транспортними ДВЗ у навколишнє середовище.....	145
2.7 Оцінка впливу викидів від дизельних двигунів на здоров'я людини та довкілля	147
2.8 Аналіз сучасних перспектив екологізації двигунів локомотивів	152
3. Дослідження процесів корозії охолоджуючих систем дизелів -----	162
3.1 Сучасні теорії корозії котлового обладнання	162
3.2 Методи протикорозійної обробки котлової води	164
Контрольні питання до розділу 5.....	165
ВИСНОВКИ.....	166
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	167

ВСТУП

Необхідною умовою розвитку виробництва на сучасному етапі є створення і освоєння високоефективних технологій, до яких висуваються вимоги щодо ресурсо- та енергозбереження, а також екологічної безпеки.

Транспортна інфраструктура є одним з найбільших споживачів ресурсної бази, зокрема нею затребувані паливо-мастильні матеріали, пісок та водні ресурси. Значну роль вони відіграють у багатьох виробничих процесах і на підприємствах залізничної інфраструктури, тому екологічна безпека на залізничному транспорті стає одним із пріоритетних питань.

У посібнику студентів буде ознайомлено з науково-технічними проблемами, пов'язаними зі складом, властивостями, якістю, особливостями експлуатації і впливом на навколишнє природне середовище паливно-мастильних матеріалів, піску і води.

В посібнику розкрито базові питання організації процесів екіпірування рухомого складу залізниць з урахуванням сучасних екологічних підходів та євроінтеграції. Наведено принципи класифікації, ідентифікації та номенклатури основних матеріалів для екіпірування локомотивів. Надані технологічні та організаційні рекомендації до етапів обслуговування рухомого складу залізниць. Детально проаналізовано сучасні інноваційні підходи до раціонального використання матеріалів та ресурсозбереження.

Студенти отримають навички вибору паливно-мастильних матеріалів, а також зменшення та попередження їх негативного впливу на довкілля, потрібні для вивчення професійних дисциплін та для використання в обраній професії.

Викладений матеріал дозволить студентам отримати базові знання в галузі експлуатаційних властивостей, якості та раціонального застосування палив, мастильних матеріалів, технічних рідин, піску та води.

Навчальний посібник «Екологічні аспекти екіпірування рухомого складу залізниць» призначений для студентів усіх форм навчання освітнього ступеня «бакалавр» за ОПП «Екологічний менеджмент інфраструктури і транспорту» спеціальності 101 «Екологія», а також «Локомотиви та локомотивне господарство» спеціальності 273 «Залізничний транспорт».

РОЗДІЛ № 1. ПАЛИВО

1. Класифікація, склад і властивості палива

Паливо – це горючі природні або штучні, тверді, рідкі або газоподібні речовини, які при спалюванні слугують джерелом теплової енергії.

Паливно в широкому значенні слова - це речовина, здатна виділяти енергію в ході певних процесів, яку можна використовувати для технічних цілей. Хімічне паливо виділяє енергію під час екзотермічних хімічних реакцій під час горіння, ядерне паливо – під час ядерних реакцій. Деякі види палива (наприклад, гомогенні порохи або тверде ракетне паливо) здатні до самостійного горіння без окиснювача. Однак більшість палив, що використовуються в побуті та в промисловості, вимагає для спалювання наявності кисню.

Найбільш поширеними паливими матеріалами є органічні палива, у складі яких є вуглець і водень.

Поняття палива виникло із здатності деяких речовин горіти, виділяючи при цьому тепло. У більшості випадків горіння є хімічною реакцією окиснення, при цьому для таких видів палива, як дерево (дрова) або бензин окиснювачем часто служить кисень повітря. Як окиснювач у спеціальних пристроях (наприклад, ракетних двигунах) можуть використовуватися інші речовини, наприклад рідкий кисень. Фтор не використовується як окиснювач через дуже високу токсичність, озон - через токсичність та нестабільність.

За останні 20 років світове енергоспоживання зросло на 30 % (і це зростання, мабуть, продовжиться через зростання потреби країн азіатського регіону, що бурхливо розвиваються). У розвинених країнах за той же період сильно змінилася структура споживання – відбулося заміщення частини вугілля екологічнішим газом, а також зросла з 4% до 10% частка атомної енергії.

Для перетворення теплової енергії палива на кінетичну використовують різні види теплових двигунів.

Основний показник палива – теплотворна здатність (теплота згоряння). З метою порівняння видів палива запроваджено поняття умовного палива (теплота згоряння одного кілограма «умовного палива» (у. п.) становить 29,3 МДж чи 7000 ккал, що відповідає нижчій теплотворній здатності чистого антрациту.

Палива поділяються за агрегатним станом речовини на тверді, рідкі та газоподібні, а за способом одержання - на природні (вугілля, нафту, газ) та штучні. Вископні природні палива є основним джерелом енергії для сучасного суспільства. Приблизно 90 % усієї енергії, що виробляється людством на Землі, отримується завдяки спалюванню вископного палива або біопалива і за прогнозами Управління енергетичних досліджень і розробок (США) ця частка не впаде нижче 80 % до 2040 року при одночасному зростанні енергоспоживання на 56 % у період із 2010 по 2040 роки. З цим пов'язані такі глобальні проблеми сучасної цивілізації, як виснаження невідновлюваних енергоресурсів, забруднення довкілля та глобальне потепління [26-29].

Паливо повинно відповідати таким основним вимогам: порівняно легко займатись, при згорянні виділяти якомога більше тепла, бути поширеним у природі, доступним при розробці, дешевим при виробництві, не змінювати свої властивості при транспортуванні і зберіганні, бути нетоксичним і при згорянні не виділяти шкідливих та отруйних речовин, мати високий коефіцієнт корисної дії.

Цим вимогам найбільш повно відповідають речовини органічного походження: нафта, природний газ, тверді горючі копалини та ін. [26-29].

1.1 Класифікація палива

Залежно від свого агрегатного стану паливо може бути твердим, рідким та газоподібним. За способом одержання паливо підрозділяють на природне та штучне; штучне паливо одержують із природного палива шляхом фізико-механічної чи фізико-хімічної переробки.

За видом використання паливо поділяється на енергетичне, безпосередньо спалюване для отримання теплової енергії, та технологічне, що використовується для спеціальних цілей (коксування, напівкоксування, газифікація тощо) [26-29].

1.2 Склад палива

Паливо складається з горючої маси та баласту (негорючих домішок). При всій різноманітності властивостей різних видів палива горюча маса включає в основному чотири елементи: вуглець C , водень H , кисень O і сірку S . Від співвідношення цих елементів у паливній масі та вмісту в паливі баласту (вологи W та мінеральних домішок A) залежать його основні характеристики.

Склад твердого та рідкого палива виражають у відсотках по масі, а газоподібного - у відсотках за обсягом.

Вуглець є найважливішим компонентом палива. Вміст вуглецю в паливній масі перевищує 50% і може досягати 98%; в різних видах палива вміст вуглецю варіюється в певних межах, які наведено в табл. 1.1.

При повному згорянні 1 кг вуглецю виділяється 8100 ккал, або 33300 кДж тепла. Чим більше міститься вуглецю в паливі, тим більше тепла виділяється при спалюванні. З іншого боку, великий вміст вуглецю в твердому паливі обумовлює важку його займистість і горіння без полум'я.

Водень – другий за значенням компонент палива. Вміст водню в горючій масі різних видів палива наведено в табл. 1.2.

При згорянні водню утворюється волога, при цьому залежно від стану вологи (рідкий або пароподібний) при спалюванні 1 кг водню виділяється від 33860 до 28640 ккал, або за системою СІ 139 000 - 118 000 кДж тепла.

Водень підвищує температуру згорання палива, а також при горінні обумовлює збільшення виходу летких речовин, що виділяються при нагріванні без доступу повітря.

Кисень, що входить до складу палива, при згорянні тепла не виділяє та є небажаною складовою, оскільки зі збільшенням його вмісту зменшується горюча частина палива. Вміст кисню коливається у межах (від 0 до 42%). Високим вмістом кисню характеризується горюча частина рослинного палива, а також

молодих видів викопного палива - торфу та бурого вугілля. Значно менше міститься кисню в кам'яному вугіллі і особливо в антрацитах.

Таблиця 1.1

Вміст вуглецю в паливній масі різних видів палива

Вид палива	Вміст вуглецю, %
Дрова	50
Торф	54-63
Сланці	60-70
Буре вугілля	60-80
Кам'яне вугілля	75-90
Антрацит	92-98
Мазут	87-88
Дизельне паливо	87
Природний газ	85
Бензин	75

Таблиця 1.2

Вміст водню в горючій масі різних видів палива

Вид палива	Вміст вуглецю, %
Дрова	6
Торф	6
Кам'яне вугілля	4-6
Антрацит	1-3
Мазут	11-12
Дизельне паливо	13
Природний газ	25
Бензин	15

У твердому паливі з великим вмістом кисню високий вихід летких речовин, воно легко запалюється і володіють високою реакційною здатністю.

У легкому дистильованому рідкому паливі кисню практично немає. У сирій нафті та мазуті, хоча й у незначній кількості, міститься кисень, що входить до складу смол та нафтових кислот. У природних газах кисню дуже мало [26-29].

Азот є інертною складовою палива, що не бере участі в горінні, і може розглядатися як внутрішній баласт палива. Вміст азоту в твердому та рідкому паливі зазвичай невеликий (0,3...2,0 %), тому істотного впливу на кількість тепла, що виділяється при горінні, він не надає.

У деяких видах газоподібного палива азот міститься у досить значній кількості, що сильно знижує їх якість.

Сірка у твердому паливі міститься у трьох видах: органічна, колчеданна (піритна) та сульфатна. Органічна сірка S_0 входить до складу складних органічних сполучень, що утворюють паливо. При спалюванні палива органічна сірка згоряє з утворенням сірчистого газу та виділенням близько 2180 ккал, або 8970 кДж тепла на 1 кг сірки. Колчеданна, або піритна, сірка S_k входить до складу залізного колчедану та інших сполучень. При спалюванні палива колчедан згоряє з утворенням сірчистого газу і оксидів заліза з виділенням при цьому приблизно 3100 ккал на 1 кг сірки, що міститься в ньому.

Органічна та колчеданна сірка бере участь у горінні та називається горючою, або летючою, сіркою, тобто $5L = 5^\circ + 5 K$. При підрахунках теплоти згоряння твердого та рідкого палива можна прийняти, що на 1 кг паливної сірки виділяється в середньому близько 2600 ккал.

Сульфатна сірка практично в горінні не бере участі і тому називається негорючою, або нелетючою, сіркою. При спалюванні палива вона переходить у золу, і внаслідок цього її наявність мало позначається на властивостях палива.

Загальний вміст сірки з займистою масою вугілля доходить до 6-7%. У рідкому паливі вона зустрічається у вигляді вільної сірки та у вигляді органічних сполучень. Вміст сірки в нафтах становить від 0,1 до 35%. У газоподібному паливі сірка міститься переважно у вигляді сірководню H_2S ++, сірчистого газу SO_2 та деяких інших сполучень.

Сірка різко знижує економічну цінність палива, особливо технологічного. Наявність сірчистих сполучень у паливі викликає корозію металевих частин апаратури, а також нагар та відкладення.

1.3 Властивості палива

Вихід летких речовин та коксу. При нагріванні твердого палива без доступу повітря відбувається розкладання його з утворенням газоподібних продуктів, які називають летючими речовинами, і твердого залишку, званого коксом. До складу летких речовин входять горючі гази CO , H_r , різні вуглеводні та негорючі гази N_2 , O_2 та ін, а також пари води.

Для різних видів твердого палива вихід летких речовин змінюється у межах: від 2...9% для антрацитів до 40...60% для бурого вугілля і 70...80% для торфу і горючих сланців.

По зовнішньому вигляду і міцності коксу судять про іншу важливу властивість твердого палива – його спікливість. Вугілля, що дає міцний кокс, що спікся, відносяться до тих що спікливі; вугілля, що утворює неміцний кокс, відносяться до тих що слабо спікливі і вугілля, що дають порошкоподібний кокс, відносяться до тих що не спікливі.

Вихід летких речовин визначається за ДСТУ 9220:2023. Сутність методу полягає в нагріванні навіски порошкоподібної проби вугілля в закритому кришкою фарфоровому тиглі електричної печі при температурі 850° С ($\pm 25^\circ$) протягом 7 хв.

Вихід летких V_e виражають у відсотках від ваги проби, його прийнято відносити до горючої маси палива.

Спікливість палива може бути знайдене пластометричним методом (ДСТУ 7722:2015), при якому ступінь спікання вугілля визначається товщиною пластичного шару V (в мм), одержуваного при його нагріванні. Спікливість визначає можливість коксування вугілля та способи їх спалювання на колосникових ґратах. При шаровому спалюванні в топках палива, що не спікається, спостерігаються велике винесення частинок палива з шару, а також значні втрати з провалом через колосникові ґрати.

Встановлюючи спікливість вугілля, використовують коксовий залишок, який одержується у тиглі щодо виходу летких речовин, зовнішній вигляд і міцність якого характеризують ступінь спікливості вугілля.

Мінеральна маса палива та зола. Всі види палива, за винятком газоподібного і найлегших видів дистильованого рідкого палива, містять мінеральні домішки. Ці домішки, що містяться в твердому викопному паливі, прийнято ділити на внутрішні (пов'язані) і зовнішні (вільні). Внутрішні мінеральні домішки нерозривно пов'язані з органічною масою палива, і їх неможливо видалити при збагаченні палива, тоді як видалити зовнішні домішки можливо.

Мінеральними домішками рідкого палива є різні солі, розчинні в бурових водах, і потрапляють у нафту під час її видобутку. У рідкому паливі можуть бути також продукти, що утворюються при корозії обсадних труб, цистерн, нафтових сховищ, та речовини, що залишилися після лужного та кислотного очищення нафтопродуктів. Зазвичай вміст мінеральних домішок у рідкому паливі невеликий, хоча іноді в топковому мазуті досягає 0,5 і навіть 1%.

У процесі згоряння палива під впливом високої температури мінеральні домішки зазнають ряду змін. Негорючий залишок, що виходить після згоряння палива, називається золою. Зола, будучи баластом, знижує теплові якості палива і вимагає додаткових витрат його на транспортування. Тому високозольне паливо недоцільно перевозити на далекі відстані.

Кількість золи, що міститься в різних видах паливах, відрізняється. У кам'яному вугіллі вміст золи може доходити до 25 %, у бурому вугіллі – до 40 % і в

горючих сланцях – до 60 %. Паливо з великим вмістом золи порівняно з малозольним ускладнює роботу парових котлів електростанцій.

Зола є складною сумішшю, до складу якої входять найрізноманітніші речовини. Найбільше в золі кремнезему SiO_2 та глинозему Al_2O_3 , що мають високу температуру плавлення.

Залежно від температури плавлення розрізняють:

- золу тугоплавку з температурою плавлення вище $1400^\circ C$;
- золу середньої плавкості з температурою плавлення $1200\dots1400^\circ C$;
- золу легкоплавку з температурою плавлення нижче $1200^\circ C$.

Легкоплавка зола у процесі згоряння палива утворює тверді залишки (шлаки) у вигляді суцільної злиплої маси або окремих шматків. Утворення таких шлаків на колосниковій решітці ускладнює ведення нормального процесу горіння. Тугоплавка зола є сипучою масою, що легко видаляється з поверхні. Зола та шлаки використовуються як сировина в будівництві. Вміст золи (A^a) у паливі визначають за ДСТУ 9045:2020. Сутність методу полягає в прожарюванні навіски проби вугілля до постійної ваги в муфелі за температури $800^\circ C$. Вміст золи виражають у відсотках від ваги проби.

Волога в паливі є баластом. На випаровування води непродуктивно витрачається частина тепла, що виділяється паливом при згорянні. Крім того, волога погіршує займання палива, уповільнює процес горіння та знижує температуру горіння. Тому паливо з високим вмістом води перевозити на далекі відстані немає економічної доцільності [22, 25, 30].

Розрізняють вологу зовнішню $W_{зв}$ і внутрішню, або гігроскопічну $W_{ггп}$.

Вони разом становлять загальну, або робочу, вологу W_p . Зовнішня волога потрапляє в паливо в процесі його видобутку, транспортування та зберігання. Ця волога може бути порівняльно легко видалена з палива висушуванням. Внутрішня ж волога пов'язана з органічними речовинами палива та його мінеральними домішками. У рідкому паливі міститься лише зовнішня волога в краплино-рідкому стані та у вигляді емульсії.

Вміст води в паливі варіюється від частки відсотка в рідкому паливі до 30 % в бурому вугіллі та до 50 % і вище в сирих дровах і свіжодобутому торфі.

У лабораторіях зазвичай визначають гігроскопічну вологість палива, яка також носить назву води аналітичної проби W_a . Визначення води W_a у вугіллі проводиться відповідно до ДСТУ ISO 589:2015. Сутність методу визначення вмісту гігроскопічної води полягає у висушуванні при температурі $105\dots110^\circ C$ в сушильній шафі навіски повітряно сухої аналітичної проби, вугілля, вміст води в якій доведено до рівноважного стану з навколишнім середовищем при відносній вологості повітря $60\pm2\%$ і температурі $20\pm5^\circ C$.

1.4 Поняття про маси палива та методи перерахунку

Залежно від елементарного складу паливо умовно характеризується різними масами: робочою, сухою, горючою та органічною.

Паливо, добуте з надр або з поверхні землі та яке призначене для спалювання в своєму натуральному вигляді, має назву робочого палива. В склад робочої маси палива входять: вуглець C , водень H , кисень O , азот N , сірка S , а також волога W та мінеральні домішки A . Для того щоб показати, що вміст цих елементів і складових частин відноситься саме до робочого палива, над їх позначенням ставлять позначку « p », тобто C^p, H^p, O^p, N^p і так далі. Таким чином:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S_{\text{д}}^p + A^p + W^p = 100 \% \quad (1.1)$$

де $S_{\text{д}}^p$ – вміст летючої сірки.

Якщо шляхом штучного висушування (при $t \geq 105^\circ\text{C}$) видалити з робочого палива всю вологу, що міститься в ньому, то отримаємо абсолютно суху масу.

Для того щоб показати, що хімічні елементи визначені для абсолютно сухої маси, над їх позначенням ставиться значок « c », наприклад, C^c, H^c, O^c, N^c і так далі.

Отже:

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S_{\text{д}}^c + A^c + W^c = 100 \% \quad (1.2)$$

Якщо паливо містить лише внутрішню (гігроскопічну) вологу, то воно характеризується повітряно-сухою або аналітичною масою. До такого саме стану приводиться паливо в лабораторії при аналізі (над умовним позначенням при цьому ставиться значок « a »).

Склад його виражається рівнянням:

$$C^a + H^a + O^a + N^a + S_{\text{д}}^a + A^a + W^a = 100 \% \quad (1.3)$$

Паливо, з якого видалено вологу і золу, носить назву горючої маси (відповідні позначення мають значок « Γ »), і її прийнято виражати так:

$$C^{\Gamma} + H^{\Gamma} + O^{\Gamma} + N^{\Gamma} + S_{\text{д}}^{\Gamma} = 100 \% \quad (1.4)$$

Після видалення з палива золи, вологи та сірки у залишку виходить так звана органічна маса, що складається з вуглецю, водню, кисню та азоту (відповідне позначення « o »):

$$C^o + H^o + O^o + N^o = 100 \% \quad (1.5)$$

Найбільш стійким складом палива є горюча маса. Тому в таблицях наводиться склад горючої маси палива. При теплотехнічних розрахунках необхідно користуватися складом палива на робочу масу

Схема (рис. 1.1) різних станів палива зображена нижче.

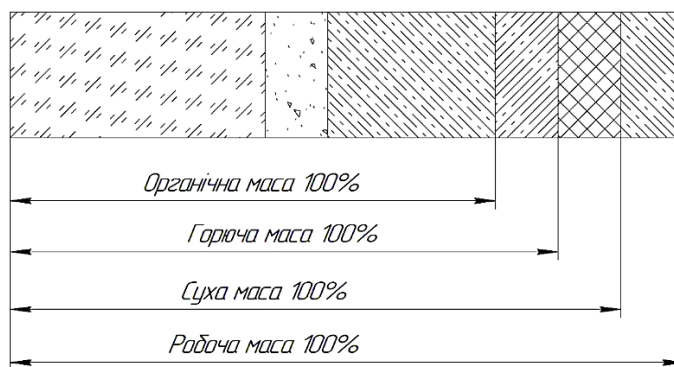


Рисунок 1.1 – Елементний склад палива

Зазначені вище рівняння, що характеризують елементарний склад палива при різних станах, дозволяють виразити зв'язок між окремими його складовими за допомогою дуже простих співвідношень. Знаючи аналітичну пробу, можна визначити склад робочого палива, абсолютно сухого палива, горючої або органічної маси палива.

Користуються такими формулами для визначення:

– робочого палива

$$X^p = X^a = \frac{100 - W^p}{100 - W^a} \quad (1.6)$$

де X^p – будь-який елемент робочого палива;

X^a – будь-який елемент аналітичної проби;

– абсолютно сухого палива

$$X^c = X^a = \frac{100}{100 - W^a} \quad (1.7)$$

де X^c – будь-який елемент абсолютно сухого палива;

– горючої маси палива

$$X^r = X^a = \frac{100}{100 - W^a - A^a} \quad (1.8)$$

де X^r – будь-який елемент горючої маси палива;

– органічної маси палива

$$X^o = X^a = \frac{100}{100 - W^a - A^a - S_l^a} \quad (1.9)$$

де X^o – будь-який елемент органічної маси палива.

Аналогічно можна отримати формули перерахунку складу палива для інших мас. Ці формули наведені у табл. 1.3.

Формули перерахунку складу палива

Задана маса палива	Необхідна маса палива				
	Робоча	Аналітична	Суха	Горюча	Органічна
Робоча	—	$\frac{100 - W^a}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p}$	$\frac{100}{100 - A^p - W^p}$	$\frac{100}{100 - W^p - A^p - S_{л}^p}$
Аналітична	$\frac{100 - W^p}{100 - W^a}$	—	$\frac{100}{100 - W^a}$	$\frac{100}{100 - A^a - W^a}$	$\frac{100}{100 - W^a - A^a - S_{л}^a}$
Суха	$\frac{100 - W^p}{100}$	$\frac{100 - W^a}{100}$	—	$\frac{100}{100 - A^a}$	$\frac{100}{100 - A^a - S_{л}^a}$
Горюча	$\frac{100 - W^p}{100} - \frac{A^p}{100}$	$\frac{100 - W^a}{100} - \frac{A^a}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100}$	—	$\frac{100}{100 - S_{л}^r}$
Органічна	$\frac{100 - W^p}{100} - \frac{A^p - S_{л}^p}{100}$	$\frac{100 - W^a}{100} - \frac{A^a - S_{л}^a}{100}$	$\frac{100 - A^c}{100} - \frac{S_{л}^c}{100}$	$\frac{100 - S_{л}^r}{100}$	—

2. Процес горіння та теплота згорання палива

2.1 Поняття про процес горіння палива

Горінням називається складний фізико-хімічний процес з'єднання горючої частини палива з киснем повітря, що супроводжується виділенням тепла.

Характерною особливістю горіння, що відрізняє його від інших окислювальних реакцій, є швидкість окислювальних процесів, при якій тепло, що виділяється, не встигає розсіюватися в навколишньому середовищі.

Для виникнення та розвитку процесу горіння потрібно підвести до палива достатню кількість повітря. Необхідна також наявність високої температури, при якій відбувається взаємодія частинок горючої речовини та кисню повітря. При достатній кількості повітря органічна маса палива дає продукти повного згорання, горіння в цьому випадку називається повним; якщо повітря недостатньо, то відбувається неповне згорання палива. Кількість речовин, що беруть участь у горінні, вимірюється у звичайних вагових одиницях або в молях. Модем, або кілограм-молекулою, називається вагова кількість речовини в кг, яка дорівнює його молекулярній вазі.

Початок горіння може статися внаслідок самозаймання або підпалювання палива. Надалі відбувається безперервне виділення теплоти, необхідної для підтримки процесу на досить високому температурному рівні.

Температура, при якій виникає хімічна взаємодія частинок горючої речовини і кисню, називається температурою займання. Температура займання більшості горючих газів становить близько 600°C , а топкового мазуту від 100 до 200°C . Температура займання твердого палива коливається в широких межах - від 250 до 450°C для бурого вугілля і до $600\dots700^{\circ}\text{C}$ для антрацитів. Ця температура залежить не тільки від властивостей палива, а й від низки зовнішніх умов, а саме: тиску, часу підігріву палива, присутності інертних газів у сумішах.

Для рідкого палива, що використовується в дизелях, основне значення має температура самозаймання, тобто та найнижча температура, за якої паливо загоряється без впливу будь-якого стороннього джерела займання. З підвищенням тиску температура самозаймання палива знижується.

Швидкість процесу горіння залежить в основному від умов сумішоутворення. В залежності від цього, горіння поділяють на кінетичне та дифузійне. Якщо утворення суміші палива та повітря передує горінню, то горіння називається кінетичним; якщо процеси горіння відбуваються одночасно з процесами сумішоутворення, то горіння називається дифузійним. У практичних умовах часто спостерігається проміжна область горіння, яка називається дифузійно-кінетичною.

Під температурою горіння розуміється температура, до якої нагріваються газоподібні продукти згорання за рахунок тепла, що виділяється під час горіння. Розрізняють температуру горіння теоретичну та дійсну [15].

Теоретичною температурою горіння називається та максимальна температура, яка може бути досягнута за відсутності втрат від теплообміну. Теоретична

температура горіння для рідкого палива становить 1800...2000° С, для вугілля 1450...1800° С.

Внаслідок того, що процеси горіння в топкових камерах, циліндрах двигунів і т. п. супроводжуються теплообміном і тепловими втратами, продукти згорання матимуть дійсну температуру нижчу за теоретичну.

2.2 Особливості горіння різних видів палива

Різні характеристики палива визначають особливості його горіння. Згорання твердого (кам'яновугільного) палива може відбуватися в шарі (шарові камери згорання), а також пилоподібному стані (факельні камери згорання).

Горіння твердого палива у шаровій камері згорання (топці) складається з наступних стадій: випаровування вологи (підсушування палива), виділення та згорання горючих летких речовин у топковому просторі та горіння безпосередньо на колосниковій ґратах. Таким чином, частина твердого палива згоряє в топковому просторі, частина на колосникових ґратах.

Для повного згорання летких речовин у топковому просторі необхідна досить висока температура, так як температура займання цих речовин знаходиться в межах 500° С і вище. Горіння твердого палива в шарі є чистим дифузійним процесом.

Після виділення та згорання летких речовин на колосниках залишається розпечений шар палива. Чим більша поверхня дотику шару з повітрям, тим ефективніше йде горіння. Тому, якщо шматки вугілля великі, необхідно прагнути до того, щоб шар вугілля в топці був досить товстим, а при опаленні дрібним вугіллям тоншим. Підтримка та регулювання шару палива на колосникових ґратах є вельми істотною умовою раціонального опалення.

Досконалість процесу горіння тісно пов'язана з коефіцієнтом надлишку повітря. Так, якщо шар палива більший, ніж це потрібно, то через нестачу повітря буде неповне згорання; якщо шар палива буде менший, ніж це потрібно, то зайве повітря, що увійшло в топку, нагріється і понесе тепло в димову трубу, підвищуючи втрати тепла з продуктами згорання, що йдуть. Крім того, збільшення коефіцієнта надлишку повітря призведе до зменшення температури горіння в топці.

Показником економічного спалювання палива у шарі є мінімально можливий коефіцієнт надлишку повітря при максимальній повноті горіння палива.

Шарове спалювання знайшло широке застосування у техніці. На цьому принципі заснована робота топків котельних установок, паровозів, промислових печей, газогенераторів [15, 42, 44].

Сутність процесу спалювання пилоподібного палива полягає в тому, що попередньо подрібнене тверде паливо через пальник вдувається потоком повітря в камеру топки, де згоряє у зваженому стані. Цей потік повітря, що називається первинним, становить деяку частину загальної кількості повітря, необхідної для горіння. Решта повітря, що подається через пальники або крім них, називається вторинним.

На швидкість згоряння вугільного пилу вирішальний вплив має розмір пиловугільних частинок: чим вони дрібніші, тим швидше та досконаліше протікає процес горіння.

Спалювання палива в пилоподібному стані економічно, так як при цьому може використовуватися високовологе та багатозольне паливо (буре вугілля, горючі сланці тощо), а також відходи вугільної промислової (дрібниця вугілля різних марок, антрацитовий штиб тощо). Пиловугільне паливо широко використовується в топках котельних установок (особливо електростанцій) та в деяких технологічних печах.

Рідке паливо спалюють у різний спосіб. Один з них полягає в тому, що рідке паливо попередньо переводиться в пароподібний стан, а потім пари палива перемішуються з повітрям і спалюються.

У даному випадку відбуватиметься кінетичний процес горіння. Цей спосіб застосовується для спалювання рідких видів палива, що легко випаровуються (бензин) в карбюраторних та інжекторних двигунах. У цих двигунах рідке паливо вводиться в камеру згоряння у вигляді пароповітряної однорідної суміші. Запалювання паливно-повітряної суміші відбувається електричної іскрою. Велике значення має процес випаровування, тому швидкістю випаровування рідкого палива і визначається швидкість протікання всього процесу горіння загалом.

Для покращення випаровування палива в двигунах застосовують підігрів робочої суміші або повітря, що засмоктується в карбюратор повітря зазвичай за рахунок тепла відхідних газів.

Іншим досить поширеним способом є спалювання рідкого палива в краплинному стані. При цьому відбувається дифузійний процес горіння. Для інтенсифікації горіння попередньо розпилюють паливо на дрібні частки з наступним спалюванням у факелі. Основними стадіями спалювання рідкого палива у факелі є: розпилення палива, випаровування та термічне розкладання, утворення паливної суміші з продуктів випаровування та кисню повітря, займання та горіння пароповітряної суміші [15, 42, 44].

Розпилюється рідке паливо спеціальними пристроями-форсунками. Як розпилююче середовище використовується пара (при спалюванні мазуту під котлами) або стиснене повітря (при спалюванні нафтопродуктів у двигунах внутрішнього згоряння) [26-29].

У дизелях паливо в краплинно-рідкому стані вводиться в простір заповнений стисненим повітрям. Завдяки високому ступеню стиснення повітря температура підвищується до 600...700° С, що й забезпечує швидке самозаймання вприснутого палива.

Процес згоряння в дизелі поділяється на три основні періоди: період затримки займання (попереднього окиснення палива); період швидкого згоряння палива та інтенсивного наростання тиску; період уповільненого регульованого горіння. Чим менший період затримки займання, тим більш плавно і економічно працює дизель. Якщо цей період великий, то паливо накопичуватиметься в циліндрі. Одночасне запалення значної кількості палива різко збільшує тиск у циліндрі, що призводить до передчасного його зносу, а також знижує потужність та

економічність дизеля. Тривалість періоду затримки займання залежить від якості палива, якості розпилування, температури стисненого повітря.

Промислове спалювання газів здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв, які називаються газовими пальниками. Горючий газ та повітря, необхідні для горіння, подаються через горілку в топкову камеру, де утворюється струмінь палаючого газу (факел).

Залежно від способу подачі та умов перемішування газу та повітря можливі три види горіння газоподібного палива: кінетичне, дифузійне та змішане.

Кінетичний вид горіння це горіння попередньо підготовленої однорідної газоповітряної суміші, вміст повітря в якій дещо перевищує теоретично необхідну його кількість.

Дифузійне горіння відбувається при роздільній подачі газу в камеру горіння, що виконує роль змішувального пристрою. Перемішування газу та повітря в камері горіння відбувається за рахунок їхньої взаємної дифузії, яка поєднується з горінням.

Змішане горіння має місце у разі спалювання газоповітряної суміші, що містить частину повітря, необхідного для повного його згоряння. Решта повітря або подається окремо, або надходить з навколишнього простору, в якому відбувається спалювання суміші.

У промисловості найбільше поширення має дифузійне спалювання газоподібного палива.

Забезпечення палива, що горить, достатньою кількістю повітря – необхідна умова процесу горіння. Необхідну кількість повітря для горіння твердого та рідкого палива можна визначити, якщо відомий хімічний склад палива та питома вага продуктів згоряння. Знаючи реакції горіння і підставляючи в них молекулярну вагу хімічних елементів, визначимо теоретично необхідну кількість кисню для спалювання 1 кг палива:



$$12 + 32 = 44 \text{ кг}$$



$$2 + 16 = 18 \text{ кг}$$



$$32 + 32 = 64 \text{ кг}$$

Отже, при повному згорянні 1 кг вуглецю витрачається $32 \div 12 = 2,67$ кг кисню.

Для згоряння 1 кг водню необхідно кисню $16 \div 2 = 8$ кг, а для згоряння 1 кг сірки $32 \div 32 = 1$ кг кисню.

Взявши до уваги те, що в паливі є деяка кількість кисню, отримаємо, що для спалювання 1 кг робочого палива кисню знадобиться:

$$0,01 \cdot (2,67C^p + 8H^p + S_{\text{п}}^p - O^p) \text{ кг} \quad (1.13)$$

При спалюванні палива до топок і камер згоряння двигунів підводиться не чистий кисень, а повітря, в якому міститься лише 23% кисню (за вагою). Тому теоретично необхідна вагова кількість повітря $L_{\text{в}}^0$, яка необхідна для повного згоряння 1 кг палива, буде дорівнювати:

$$L_{\text{в}}^0 = \frac{1}{23} \cdot (2,67C^p + 8H^p + S_{\text{п}}^p - O^p) \text{ кг} \quad (1.14)$$

Для перерахунку на об'ємну кількість повітря необхідно отриманий вираз розділити на щільність повітря, що дорівнює за нормальних умов $1,293 \text{ кг/нм}^3$, тобто:

$$V_{\text{в}}^0 = \frac{L_{\text{в}}^0}{1,293} \text{ кг/нм}^3 \quad (1.15)$$

Для газоподібного палива теоретично необхідна кількість кисню визначається за об'ємним складом газу наступною формулою:

$$V_{\text{O}_2}^0 = 0,01 \cdot (0,5CO + 0,5H_2 + 2CH_4 + 3,5C_2H_6 + 5C_3H_8 + 6,5C_4H_{10} + \\ + 8C_5H_{10} + 3C_2H_4 + 4,5C_3H_6 + 1,5H_2 - O_2) \text{ нм}^2/\text{нм}^2 \text{ газу} \quad (1.16)$$

Об'єм повітря $V_{\text{в}}^0$, необхідний для горіння газу, підраховують, виходячи із вмісту в повітрі 21% кисню за об'ємом:

$$V_{\text{в}}^0 = \frac{100}{21} \cdot V_{\text{O}_2}^0 = 4,67 \cdot V_{\text{O}_2}^0 \text{ нм}^3 \quad (1.17)$$

Для повного згоряння палива теоретичної кількості повітря буває недостатньо, тому що в більшості випадків частина необхідного кисню в повітрі не встигає вступити в реакцію з паливом і видаляється із зони горіння разом з продуктами згоряння. Тому в камеру згоряння подається дещо більше повітря, ніж це теоретично необхідно.

Кількість повітря, яка підводиться в практичних умовах для повного згоряння палива, називається дійсною витратою повітря $L_{\text{в}}^0$.

Відношення дійсної витрати повітря на 1 кг палива до теоретично необхідної кількості повітря називається коефіцієнтом надлишку повітря і позначається літерою α . Таким чином, дійсна витрата повітря для спалювання 1 кг палива дорівнюватиме:

$$L_{\text{в}} = \alpha L_{\text{в}}^0 \quad (1.18)$$

Розмір коефіцієнта надлишку повітря залежить від виду палива та способу його спалювання, а також від режиму роботи камери згоряння. Чим дрібніше і

однорідніше паливо, тим легше досягти рівномірного його змішування з повітрям і тим менший потрібний надлишок повітря. При спалюванні твердого шматкового або важкого рідкого палива доводиться підводити повітря зі значним надлишком. Надлишок повітря веде до непродуктивної витрати деякої частини тепла, що утворюється при горінні, причому ця частина тим більше, чим більше надлишок і вища температура газів, що йдуть. Відбувається це тому, що введене повітря забирає з собою значну кількість тепла.

Якщо при надлишку повітря можливі великі втрати у вигляді тепла газів, що відходять, то при нестачі з'являються втрати від хімічної неповноти згорання. Таким чином, для кожного палива при спалюванні його у певних умовах існує оптимальна кількість надлишку повітря, при якому теплові втрати будуть мінімальними.

В табл. 1.4 наведено відомості про кількість повітря, необхідного для згорання окремих видів палива.

Таблиця 1.4

Відомості про кількість повітря, необхідного для згорання окремих видів палива

Найменування палива та умови горіння	L_B^0 кг/кг	α	L_B кг/кг
Дизельне паливо в дизельних двигунах	14,5	1,3-1,7	18,9-24,7
Бензин, керосин в двигунах	14,5	1,0	14,5
Топковий мазут	13,2-13,9	1,1-1,2	14,5-16,7
Кам'яне вугілля при ручному опаленні	7,7-10,0	1,3-1,4	10,0-14,0
Кам'яне вугілля при механічному опаленні	7,7-10,0	1,2-1,3	9,2-13,0
Антрацит рядовий при ручному опаленні	9,4	1,3	12,2
Антрацит рядовий при механічному опаленні	9,4	1,2	11,3
Буре вугілля при ручному опаленні	4,1	1,4	5,7
Буре вугілля при механічному опаленні	4,1	1,3	5,3
Пилоподібне паливо	В залежності від сорту вугілля	1,2-1,3	В залежності від сорту вугілля

При повному згоранні палива утворюються продукти згорання, до складу яких входять: вуглекислий газ CO_2 , водяний пар H_2O , надлишковий кисень O_2 і азот N_2 , основна частина якого надійшла разом з повітрям, а незначна виділилася зі складу палива. Крім того, у продуктах згорання може знаходитися деяка кількість газу SO_2 .

При спалюванні твердого палива хімічний недопал характеризується зазвичай утворенням CO , у той час як при неповному згорянні рідкого та газоподібного, а також твердого палива з великим вмістом водню, крім CO , у продуктах згоряння з'являються H_2 , CH_4 і C_nH_n . Продукти згоряння палива являють собою механічну суміш зазначених газоподібних речовин, а при згорянні твердого палива з'являється також зола.

Склад продуктів згоряння 1 кг палива виражається в об'ємних одиницях (нм^3) рівнянням:

$$V = V_{\text{с.г}} + V_{\text{в.п}} \text{ нм}^3 / \text{кг} \quad (1.19)$$

де $V_{\text{с.г}}$ - об'єм сухих газів в $\text{нм}^3 / \text{кг}$;

$V_{\text{в.п}}$ - об'єм водяного пару в $\text{нм}^3 / \text{кг}$;

У практичних умовах склад димових газів визначають за допомогою приладів, які називають газоаналізаторами (хімічні або електричні). Газовий аналіз дозволяє безпосередньо оцінити ступінь повноти згоряння палива та надлишок повітря. За даними газового аналізу можна визначити значення коефіцієнта надлишку повітря.

При повному згорянні палива коефіцієнт надлишку повітря знаходять за формулою:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{100 - (RO_2 + O_2)}} \quad (1.20)$$

де RO_2 - об'ємний вміст вуглекислоти та сірчистого газу в продуктах згоряння в $\text{нм}^3 / \text{кг}$ палива.

При неповному згорянні палива коефіцієнт надлишку повітря визначається за наступною формулою:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0,5CO}{100 - (RO_2 + CO + O_2)}} \quad (1.21)$$

2.3 Теплота згоряння

Одним з основних показників при оцінці теплових властивостей палива є теплота згоряння Q . Вона показує кількість тепла, що виділяється при повному згорянні масової чи об'ємної одиниці палива. Теплоту згоряння було прийнято висловлювати для твердого та рідкого палива у великих калоріях ккал на 1 кг, а для газоподібного ккал на 1 м^3 палива. Державним стандартом ДСТУ ISO 80000-1:2016 за одиницю кількості теплоти прийнято джоуль. Розмір теплоти згоряння з цього стандарту виражається в Дж/кг або кДж/кг і кДж/ м^3 . По системі СІ 1 кал дорівнює 4,187 Дж.

Розрізняють найвищу та нижчу теплоту згоряння палива. При визначення вищої теплоти згоряння Q_v враховується вся теплота, що виділяється при згорянні палива. Сюди входить теплота випаровування вологи, яка може повертатися при конденсації парів вологи палива, а також вологи, що утворилася при згоранні водню.

При визначенні нижчої теплоти згоряння палива Q_n не враховується теплота, що витрачається на випаровування вологи палива та вологи, отриманої при спалюванні водню.

Вища теплота згоряння є найбільш постійною величиною, тому вона використовується для порівняння різного палива. Нижча теплота згоряння залежить від вмісту в паливі вологи, тому вона використовується для практичної оцінки теплової цінності палива.

При підрахунку різниці між вищою та нижчою теплотою згоряння враховується витрата тепла на конденсацію водяної пари та на охолодження конденсату, що утворюється, до 0°C . Ця різниця становить близько 600 ккал на 1 кг вологи, тобто 6 ккал на кожен відсоток вологи, що міститься в паливі або утворюється при згорянні водню, що входить до складу пального.

Таким чином, вища та нижча теплота згоряння палива пов'язані співвідношенням:

$$Q_n^p = Q_v^p - 6(9H^p + W^p) \text{ ккал/кг}, \quad (1.22)$$

$$\text{або } Q_n^p = Q_v^p - 25,12(9H^p + W^p) \text{ кДж/кг}, \quad (1.23)$$

де Q_n^p, Q_v^p - нижча та вища теплота згоряння робочої маси палива в ккал/кг або кДж/кг;

$6(9H^p + W^p)$ або $25,12(9H^p + W^p)$ - теплота, витрачена на випаровування вологи палива та вологи, отриманої при горінні водню палива відповідно.

Середні величини нижчої теплоти згоряння робочого палива наведено у табл. 1.5.

При оцінці ефективності використання палива істотне значення має те, яка теплота згоряння прийнята до уваги, вища або нижча. У більшості випадків теплотехнічні розрахунки виконують, зазвичай на основі нижчої теплоти згоряння палива.

Теплота згоряння окремих видів палива визначається за даним елементарного складу палива або експериментальним шляхом у приладах, які називаються калориметрами.

Теплоту згоряння газоподібного палива можна визначити по сухому складу, шляхом підсумовування добутку теплоти згоряння окремих горючих газів на їх об'ємний вміст суміші у відсотках:

$$Q_H^c = 30,2CO + 25,8H_2 + 133,88C_2H_2 + 85,5CH_4 + 151,26C_2H_6 + \\ + 218C_3H_8 + 283C_4H_{10} + 349C_5H_{12} + 141C_2H_4 + 205C_3H_6 + \\ + 271C_4H_{11} + 337C_5H_{10} + 335C_6H_6 + 56H_2S \text{ ккал/нм}^3, \quad (1.24)$$

де CO , CH_4 , C_2H_2 і т. д. - вміст окремих газоподібних компонентів у відсотках за обсягом за нормальних умов.

Таблиця 1.5

Середні величини нижчої теплоти згоряння робочого палива

Види палива	Теплота згоряння	
	в ккал	в кДж
Дрова (в середньому)	2440	10216
Буре вугілля	2510	10509
Кам'яне вугілля	4840	20265
Антрацит	6500	27216
Природний газ	8500	35590
Скраплений газ	22000	92114
Бензин	10450	43754
Дизельне паливо	10180	42624
Мазут	9280	38855

Однак наведені формули для визначення теплоти згоряння палива за даними їх складу не завжди дозволяють одержувати цілком точні дані про теплоту згоряння, оскільки паливо є не механічною сумішшю горючих елементів, а сукупністю складних хімічних сполучень органічних речовин. Точніше значення теплоти згоряння палива може бути визначено експериментальним шляхом.

2.4 Умовне паливо та паливні еквіваленти

Умовне паливо – прийнята при розрахунках одиниця обліку органічного палива, тобто нафти та її похідних, природного та спеціально одержуваного при перегонці сланців та кам'яного вугілля, газу, торфу – яка використовується для обчислення корисної дії різних видів палива у їхньому сумарному обліку.

Основний показник палива – питома теплота згоряння. З метою порівняння видів палива запроваджено поняття умовного палива.

Прийнято, що теплота згоряння 1 кг твердого (рідкого) умовного палива (або 1 куб. м газоподібного) дорівнює 29,3 МДж (7000 ккал). Для перерахунку натурального палива в умовне застосовується калорійний еквівалент E_k , величина якого визначається відношенням нижчої теплоти згоряння конкретного робочого палива. Переведення натурального палива на умовне проводиться множенням кількості натурального палива на калорійний еквівалент. Розрізняють два види паливних еквівалентів: калорійний та технічний [15].

Значення калорійного еквівалента набувають у середньому: для нафти 1,4; природного газу 1,2 (для тис. м³); торфу 0,4; коксу 0,93. Поняття умовного палива застосовується при плануванні та аналізі теплоенергетичних процесів та для зручності зіставлення різних видів палива.

3. Тверде паливо

3.1 Різновиди твердого палива

Тверде паливо - горючі речовини, основною складовою яких є вуглець. До твердого палива відносять кам'яне вугілля та буре вугілля, горючі сланці, торф та деревину.

Тверде паливо (вугілля) утворилося з рослинних речовин, накопичених і відкладених у віддалені від нас геологічні періоди. Ці речовини зазнавали глибоких змін, проходячи послідовно різні стадії вуглеутворення. У першій стадії утворився торф. Надалі, відбувалося ущільнення, зневоднення, збільшення в торфі вмісту вуглецю і перетворення його на буре вугілля. Процес перетворення торфу на вугілля та подальші зміни вугілля називаються вуглефікацією. Головна особливість цього процесу – збільшення вмісту вуглецю. Антрацит - найвища стадія вуглефікації.

Властивості твердого палива значною мірою визначаються його хімічним складом - вмістом вуглецю (довжиною вуглецевого ланцюга), водню, кисню, азоту та сірки. Однакові кількості різного палива дають при спалюванні різну кількість теплоти. Тому для оцінки якості палива визначають його теплотворну здатність, тобто найбільше теплоти, що виділяється при повному згорянні 1 кг палива (найбільша теплотворна здатність у кам'яного вугілля). В основному тверде паливо застосовують для одержання теплоти та інших видів енергії, які витрачаються на одержання механічної роботи. Крім того, з твердого палива при його відповідній обробці (перегонці) можна отримати понад 300 різних хімічних сполучень.

Всі види твердого палива відрізняються один від одного як зовнішнім виглядом, так фізичними та хімічними властивостями [26].

Нижче в табл. 1.6 наведено елементарний склад органічної маси різного палива:

Елементарний склад органічної маси різних видів палива

Види твердого палива	C	H	O + N
Деревина	4	6	50
Торф	59	6	35
Буре вугілля	70	5,5	24,5
Кам'яне вугілля	82	5	13
Антрацит	95	2	3

3.2 Властивості вугілля та його класифікація

Вугілля – найпоширеніший вид палива. При його спалюванні виділяється велика кількість енергії. Існує кілька різновидів вугілля – вони відрізняються своїми якісними характеристиками. На якість має безпосередній вплив співвідношення води, вуглецю та інших домішок.

Вугілля поділяється на три категорії в залежності від віку, який визначає рівень вуглефікації.

Антрацит – це викопне вугілля, що виникло при температурі 350...550° С, найбільш метаморфізований різновид вугілля. Містить 95 % вуглецю. Характеризується великою густиною і блиском, колір чорний або сіруватий. Практично не містить впізнаваних рослинних решток. На відміну від інших видів вугілля, не спікається. Застосовується як тверде висококалорійне паливо завдяки його високій теплотворності 33...35 МДж/кг. Крім того, слугує сировиною в чорній та кольоровій металургії, хімічній та електротехнічній промисловості тощо, для виготовлення абразивів, відновлювачів, електродів.

У міру перетворення бурого вугілля на антрацит відбувається зростання частки вуглецю, зниження вмісту кисню, а на вищих стадіях – водню і азоту. З підвищенням ступеня якості вугілля зростають блиск і відбивна здатність, оптична анізотропія, мікротвердість, змінюються мікрокрихкість, тріщинуватість, люмінесценція, частка органічної маси, гідрофільність, теплопровідність, електрична властивості, швидкість проходження ультразвуку, спіклівість, теплота згоряння.

Кам'яне вугілля – щільна порода чорного, іноді сіро-чорного кольору. Блиск смоляний або металічний. Містить 75...92% вуглецю. Вологість 1...12 %. Вміст летких речовин 2...48%. Характеризується високою теплотворністю 30,5...36,8 МДж/кг.

Залігає в формі пластів і лінзовидних покладів завтовшки від кількох см до сотень м, на глибині до 2,5 км і більше. Пласти зазвичай складаються з чергованих літотипів. Утворювалося від девону до неогену включно; найактивніше вуглеутворення відбувалося в карбоні, пермі та юрі [26].

Використовується як технологічна, енерго-технологічна і енергетична сировина при виробництві коксу і напівкоксу з отриманням великої кількості хімічних продуктів (нафталін, феноли, пек тощо), на основі яких одержують добрива, пластмаси, синтетичні волокна, лаки, фарби і т.і.

Буре вугілля – тверде викопне вугілля, що утворилося з торфу, містить 65...70 % вуглецю, бурого кольору, наймолодше з викопного вугілля. Використовується як місцеве паливо, а також як хімічна сировина. Містить багато води (43 %), і тому має низьку теплоту згорання. Крім того, містить більшу кількість летких речовин (до 50 %).

Утворюється з відмерлих органічних решток під тиском навантаження і дією підвищеної температури на глибинах близько 1 км. У Європі поклади бурого вугілля здебільшого належать до палеоген-неогенової доби, в Азії – переважно юрської, меншою мірою крейдової і палеоген-неогенової, на інших континентах – крейдової і палеоген-неогенової доби. В Україні основні запаси бурого вугілля належать до палеогенових відкладів. Поклади залягають на невеликих глибинах та сягають завтовшки зазвичай 10...60 м, зрідка 100...200 м. Тому буре вугілля переважно добувається кар'єрним способом. Буре вугілля, що містить впізнавані залишки рослин, називається лігнітом.

Класифікація вугілля здійснюється за певними характеристиками, які прописані в ДСТУ. Класифікація передбачає наступні показники:

- кількість тепла, що виділяється при горінні одного кілограма;
- об'єм виділених при горінні вогнетривких частинок;
- об'єм сірки – від цього залежить безпосередня безпека використання;
- вологість;
- зольність.

Класифікація передбачає поділ корисних копалин на певні групи. Маркується кожна група буквами:

- Д – довгополуменеве. Для групи характерне високе полум'я вогню. За горінням довгополуменеве вугілля схоже з горінням деревини. Воно виділяє багато тепла. Призначене для енергетичних цілей.
- Ж – жирне. У нього відмінна спікливість. Він призначений для отримання коксу, без якого неможлива металургійна галузь. Жирні групи є особливо цінними.
- К – коксівне. Ще одна дуже цінна група, що використовується в металургії. Відрізняється гарною спікливістю.
- СС – слабоспікливе. Така група вугілля відноситься до енергетичного виду. Використовується, як на теплових електростанціях, так і в комунальній сфері, при опаленні приватних будинків.
- ПС – пісне спікливе. Використовується в якості сировини на підприємствах коксохімічної промисловості.
- Т – худе. Рекомендоване для використання в якості енергетичного. У нього невелика зольність. Воно не спікається.

- Г – газове. Призначене для отримання формованого коксу. Також широко використовується при виробництві сферичних абсорбентів [26].

3.3 Видобуток вугілля

Відкритий видобуток. Розробка ведеться відкритим способом, якщо глибина залягання вугільного пласта не перевищує 100 метрів. Не рідкісні і такі випадки, коли при все більшому поглибленні вугільного кар'єру, далі вигідно вести розробку вугільного родовища підземним способом.

Підземний видобуток. Для добування вугілля з великих глибин використовуються шахти.

В природі дуже рідко зустрічаються вугільні пласти, що складаються лише з чистої вугільної речовини. Зазвичай вугільний пласт містить прошарки різних мінеральних порід. При розробці частина прошарку потрапляє у вугілля, засмічуючи його мінеральними домішками. До них належать породи як сировина для будіндустрії, підземні води, метан вугільних пластів, рідкісні і розсіяні елементи, зокрема дорогоцінні метали і їх сполуки. Наприклад, деяке вугілля збагачене германієм.

Наявність у паливі великої кількості мінеральних домішок збільшує вартість його перевезення та збільшує експлуатаційні витрати при спалюванні внаслідок підвищення витрат на чищення топок, вивезення золи та шлаків.

Щоб знизити кількість мінеральних домішок та підвищити теплоту згоряння, вугілля збагачують. Збагачення вугілля може бути ручним, коли великі шматки породи вибираються вручну на породовідборних стрічках, або механічним - за допомогою збагачувальних машин. При механічному способі збагачення для відділення вугілля від породи використовується різниця їх питомої ваги (питома вага вугілля 1,2...1,5, породи - від 1,6 до 2,6 і більше).

Поділяють вугілля на окремі класи, або сорти певної крупності, за допомогою гуркотів або сит.

3.4 Штучне тверде паливо

Для поліпшення енергетичних властивостей палива, і раціонального використання паливних ресурсів, великого практичного значення набувають процеси переробки природних видів твердого палива.

Методи переробки твердого палива можуть бути фізико-механічні (сортування, збагачення, сушіння, брикетування та ін.), при яких, не змінюючи хімічного складу, паливу надають зручну для використання форму, та фізико-хімічні (суха перегонка, напівкоксування, коксування та ін.), у яких істотно змінюється хімічний склад і виходять додаткові необхідні продукти.

Брикет – сутність процесу брикетування полягає в перетворенні слабоструктурних і нестійких для зберігання видів твердого палива (вугільна дрібниця, торф'яна крихта, тирса, лушпиння та ін.) на міцні шматки - брикети. Брикети отримують, застосовуючи сполучну речовину (як правило, для відходів сільськогосподарського виробництва) у спеціальних пресах при тиску до 100...150 МПа. Таке брикетування називається холодним.

При гарячому брикетуванні (пил і крихти копалин вугілля, торфу) сполучною речовиною є смолистий відгін, що виділяється при нагріванні цього палива без доступу повітря. Паливо обробляють у спеціальних пресах при тиску 25...30 МПа, у результаті чого виходять брикети заданої форми з певною міцністю. Температуру процесу підбирають залежно від виду твердого палива (260...320°C).

Деревне вугілля – його отримують шляхом сухої перегонки деревини за нормальної температури 400...450° С без доступу повітря. При розкладанні вихідних органічних речовин виділяються гази, оцтова кислота, скипидар, смолисті речовини, метиловий спирт. У залишку знаходиться деревне вугілля. Вихід його в залежності від породи дерева та температури становить 60...90 % за обсягом. З 1 м³ складкових дров виходить 110...140 кг вугілля.

Деревне вугілля складається з вуглецю – 75%, водню – 4%, кисню та азоту разом – 20%; зольність – близько 1%. Об'ємна маса березового вугілля становить 0,4 г/см³, теплота згоряння 27 000 кДж/кг.

Деревне вугілля застосовується в ковальській справі, при виплавці кольорових металів як паливо для газогенераторних установок і як сировина для отримання активованого вугілля.

Кам'яновугільний кокс та напівкокс. Кокс виходить у процесі коксування, який протікає при термічному розкладанні палива без доступу повітря за температури 900-1000° С. При цьому, крім коксу, виділяється ціла низка інших цінних продуктів: надсмольна вода, коксовий газ, аміак, кам'яновугільна смола. З 1 т вугілля одержують 75...85 % коксу, 2,5...3,5 % кам'яновугільної смоли, 0,8...1,5 % сирого бензолу, 0,25...0,40 % аміаку та 280...350 м³ коксового газу. Вихід металургійного коксу від загальної кількості становить 92...95 %. Залишок коксу у вигляді дрібниці використовується як газогенераторне паливо. Теплота згоряння коксу – близько 29 300 кДж/кг.

Напівкокс виходить у процесі напівкоксування, який є сухою перегонкою твердого палива (копалин, сланців, торфу) при температурі 500...550° С без доступу повітря. В результаті напівкоксування виходить: смола напівкоксування, що використовується для отримання штучного рідкого палива; напівкокс - облагороджене штучне паливо; газоподібні продукти.

Зольність напівкоксу завжди вища за зольність вихідного палива. Вихід напівкоксу з бурого вугілля становить 12...20 %, з торфу – 3,5...6, кам'яного вугілля – 4...10 %.

Напівкокс застосовують як енергетичне та технологічне паливо.

Пилоподібне паливо. Процес приготування пилоподібного палива складається з підготовки твердого палива (буре вугілля, торф, горючі сланці) шляхом попереднього його подрібнення та відокремлення від нього небажаних включень, сушіння та подальшого розмелювання на спеціальних млинах до заданого стану.

Пилоподібне паливо добре перемішується з повітрям, інтенсивно горить і повністю згоряє, що забезпечує повне використання високоволоного та багатозольного палива.

3.5 Технологія зберігання вугілля

Насамперед, слід розуміти, що кам'яне вугілля має свій термін придатності. Зазвичай погіршення властивостей матеріалу настає через 6-18 місяців. Вугілля марки «Д», що візуально залежало, можна визначити за такими ознаками:

- знебарвлення та втрата характерного блиску;
- збільшення кількості та глибини тріщин;
- розм'якшення вугілля.

При тривалому зберіганні може спостерігатися деяка втрата ваги через процеси окислення і вивітрювання матеріалу. Це називається природною втратою вугілля. Щоб уникнути неприємних наслідків, слід дотримуватись кількох простих правил:

- по можливості, зберігати матеріал слід у мішках або роздільних секціях, а не навалом;
- місце зберігання має бути надійно захищене не тільки від атмосферних опадів, а й від перепадів вологості, при цьому бажана наявність гарної вентиляції природного чи примусового типу;
- у теплу пору року слід стежити, щоб на вугілля не впливали прямі сонячні промені, а кількість вугільного пилу в місці зберігання було мінімальною;
- з появою перших ознак погіршення властивостей вугілля слід проаналізувати умови його зберігання, визначити та усунути причину псування матеріалу.

4. Рідке паливо

Нафта – горюча корисна копалина, складна суміш вуглеводнів різних класів з невеликою кількістю органічних кисневих, сірчистих і азотних сполучень, що, як правило, являє собою густу оліїсту рідину. Забарвлення червоно-коричневе, буває жовто-зелене і чорне, іноді зустрічається безбарвна нафта. Нафта має характерний запах, легша за воду, у воді нерозчинна. За хімічною природою і походженням близька до природних горючих газів, озокериту, асфальту.

Нафта утворюється разом з газоподібними вуглеводнями на глибині понад 1,2...2 км; залягає на глибинах від десятків метрів до 5...6 км. Однак на глибинах понад 4,5...5 км переважають газові і газоконденсатні поклади з незначною кількістю легких фракцій. Максимальне число покладів нафти розташовується на глибині 1...3 км. Поблизу земної поверхні нафта перетворюється на густу мальту, асфальт і ін. наприклад, бітумінозні піски і бітуми.

4.1 Фізичні властивості нафти

Фізичні властивості нафти визначаються такими показниками як: питома вага, густина, температура спалаху, займання, самозаймання та застигання, а також фракційний склад. Ці властивості в залежності від хімічного складу нафти змінюються у дуже широких межах.

Питоною вагою нафти прийнято умовно називати відношення ваги певного обсягу нафти, взятого при 20° С, до ваги такого ж об'єму води, що має температуру 4° С.

Питома вага нафти коливається в межах не більше 0,75...1,00. Буває густа нафта з питоною вагою дещо більшою одиниці, та легка нафта з питоною вагою менше ніж 0,75. У нафті, питома вага якої нижче 0,87, багато бензину та гасу. Тяжка нафта з питоною вагою понад 0,88 містить багато смол.

Густина (внутрішнє тертя) - це властивість рідини чинити опір дії зовнішніх сил, що переміщують її шар один по відношенню до іншого.

Температура спалаху характеризує вогненебезпечність нафтопродукту: чим нижча температура спалаху, тим більше він вогненебезпечний.

Температура займання - це температура, при якій нагрівається у встановлених стандартом умовах нафтопродукт спалахує при піднесенні до нього полум'я. Температура спалаху і займання нафти залежить від її складу і коливається в широких межах.

Температурою застигання називається та температура, за якої нафтопродукт втрачає рухливість. Втрата рухливості зі зниженням температури відбувається внаслідок виділення з нафти твердих вуглеводнів, зазвичай парафінів. Температура застигання нафти коливається від + 12 до -40° С; чим більше вміст парафіну в нафті, тим при більш високих температурах вона застигає.

Фракційний склад дає характеристику нафти і показує кількість складових частин (фракцій), що википають у певних температурних інтервалах. В першу чергу при нагріванні википають легкі фракції, тому що вони мають більш низьку температуру кипіння. При подальшому підвищенні температури википають важчі фракції.

Середня молекулярна маса нафти 220...300 г/моль (рідко 450...470). Густина 0,65...1,05 (зазвичай 0,82...0,95 г/см³); нафта, густина якої нижче 0,83 - легка, 0,831...0,860 - середня, вище за 0,860 - важка. Вона містить велике число різних органічних речовин і тому характеризується не температурою кипіння, а температурою початку кипіння рідких вуглеводнів (зазвичай > 28° С, рідше > 100° С - для важких нафт) і фракційним складом - виходом окремих фракцій, що переганяються спочатку при атмосферному тиску, а потім під вакуумом у певних температурних межах, як правило, до 450...500° С (википає ~80 % об'єму проби), рідше 560...580° С (90...95 %). Температура застигання від -60 до +30° С; залежить переважно від вмісту в нафті парафіну і легких фракцій. В'язкість змінюється в широких межах (від 2 до 266 мм²/с для різних нафт), визначається фракційним складом нафти та її температурою, а також вмістом смолисто-асфальтенових речовин. Питома теплоємність 1,7...2,1 кДж/(кг·К); діелектрична проникність 2,0...2,5; електрична провідність від 2·10⁻¹⁰ до 0,3·10⁻¹⁸ Ом⁻¹·см⁻¹.

Колір нафти змінюється від жовтого до чорного забарвлення з ростом її густини. Нафтові вуглеводні (бензин, лігроїн, гас і деякі висококиплячі продукти), як правило, безбарвні, якщо добре очищені. Однак найчастіше крекінг-бензини, гаси, висококиплячі продукти прямої перегонки нафти, в залежності від ступеня очищення, мають ясно-жовтий і жовтий колір.

Для більшості нафт і їхніх фракцій характерна флуоресценція: вони мають синюватий чи зеленуватий колір у відбитому світлі, що пов'язано з присутністю в них хризену, октилнафталіну й інших багатоядерних вуглеводнів ароматичного ряду.

Нафти і нафтові фракції з температурою кипіння понад 300° С проявляють люмінесценцію – світіння, що виникає при їхньому опроміненні ультрафіолетовими променями. До люмогенних речовин входять нафтові кислоти, поліциклічні ароматичні вуглеводні та смоли.

Коефіцієнт світлопоглинання нафти – використовуваний при застосуванні методу фотокалориметрії показник світлопоглинання нафти $k_{\text{сп}}$, який розраховується за формулою $k_{\text{сп}} = D / (0,4343ce)$ і змінюється головним чином в залежності від вмісту асфальтено-смолистих речовин

де D – оптична густина розчину;

c – концентрація речовини;

e – товщина шару поглинання.

Теплоємність пластової нафти – кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання 1 кг нафти на 1° С. Залежить від тиску, температури та кількості розчиненого газу і змінюється приблизно в межах 0,800...3590 кДж/(кг° С).

4.2 Хімічний склад і властивості нафти

До складу нафти входять: вуглеводні метанові, нафтові, рідше ароматичні, невеликі кількості кисневих, сірчистих, азотистих органічних сполучень (нафтових кислот, асфальтенів, смол і ін.); мінеральні речовини - при елементарному складі - вуглець (в середньому 86 %), водень (в середньому 13 %), сірка, азот, кисень, зола з великим переліком мікрокомпонентів.

Елементний склад (%): вуглець 80...88, водень 11,0...14,5, сірка 0,01...6 (рідко до 8), кисень 0,005...0,7 (рідко до 1,2), азот 0,001...1,8. Основу технологічної класифікації нафти складають: вміст сірки (клас I - малосірчисті нафти, що включають до 0,5 % S; клас II - сірчисті нафти з 0,5...2 % S; клас III - високосірчисті нафти, що містять понад 2 % S). Усього в нафті виявлено понад 50 хімічних елементів. Так, нарівні зі згаданими в нафті присутні V (10^{-5} – 10^{-2} %), Ni (10^{-4} – 10^{-3} %), Cl (від слідів до $2 \cdot 10^{-2}$ %) і т. д.

Нафта являє собою суміш близько 1000 індивідуальних речовин, з яких велика частина – рідкі вуглеводні (понад 500, або зазвичай 80...90 %) і гетероатомні органічні сполуки (4...5 %), переважно сірчисті (близько 250), азотисті (понад 30) і кисневі (близько 85), а також метал-органічні сполуки (в основному ванадієві і нікелеві); інші компоненти – розчинені вуглеводневі гази (C1-C4, від десятих часток до 4 %), вода (від слідів до 10 %), мінеральні солі (головним чином хлориди, 0,1...4000 мг/л і більше), розчини солей органічних кислот і ін., механічні домішки (частинки глини, піску, вапняку).

Мікроелементи нафти – хімічні елементи, наявні в нафтах у невеликих концентраціях (у тисячних або сотих частках відсотка) і виділяються в золі, що отримується після перегонки нафти (S, Mg, O₂, N₂, Wn, P, Ni, J, Si та ін.). У нафтах

виявлено понад 40 мікроелементів, загальний вміст яких рідко перевищує 0,02...0,03 % від маси нафти.

У нафті представлені парафінові (30...35, рідше 40...50 об'ємних %) і нафтеніві (25...75 %), ароматичні (10...20, рідше до 35 %) і змішаної (гібридної) будови – парафіно-нафтеніві, нафтеніо-ароматичні тощо.

Груповий склад вуглеводнів нафти – кількісна характеристика складу нафти або її фракцій за класами вуглеводнів, що входять до них – метанових, нафтенівіх і ароматичних.

Поверхнево-активні речовини нафти – нафтеніві кислоти, смоли, асфальтени і інші речовини, вміст яких у нафті зменшує її поверхневий натяг на межі з водою і сприяє утворенню абсорбційних шарів цих речовин на стінках порожнин.

Фракційний склад нафти – продукти, які одержують з нафти в результаті її перегонки і розрізняються температурою кипіння, густиною та іншими властивостями: бензин, лігроїн, гас, мастила, залишковий гудрон. У заводських умовах при розгонці (дистиляції) нафти у відповідності з вимогами промисловості і якістю сировини одержують фракції бензинову, гасову, різні мастила і інші широкі фракції. Виділяють такі фракції (в °С): до 100 – бензин першого сорту, до 110 – бензин спеціальний, до 130 – гас звичайний, до 265 – гас, до 270 – гас звичайний; залишок відносять до мазуту, з якого при підігріванні (у вакуумі) до 400...420 °С відбирають масляні фракції [50].

4.3 Методи переробки нафти

Видобуток нафти супроводжується вилученням із природних підземних резервуарів значних кількостей газу, води, механічних домішок і солей. При надходженні на поверхню газ, розчинений у нафті, відокремлюють від неї за допомогою системи сепарації. Найбільш легкі компоненти вуглеводних газів відокремлюють від нафти в нафтових трапах, колонках і мірниках. Найважчі вуглеводні гази відокремлюють від нафти в газових сепараторах. У трапі також відбувається очищення газу від нафтового пилу. Відділення газу від нафти і пилу в трапі відбувається за рахунок зміни тиску і швидкості нафтового потоку, що рухається. Для поліпшення процесу сепарації суміш, що надходить у трап, розприскують, для чого в трапах установлюють ґрати, відбійники, тарілки й ін. пристосування. Для поділу продуктів фонтанування високого тиску (вище 20 атм.) застосовують східчасту сепарацію, при якій досягається грубе фракціонування газу і використовується пластовий тиск для транспорту газу. Відділена від газу нафта спрямовується в промислові резервуари, а звідти на нафтопереробні заводи.

При відділенні газу від нафти в трапах і інших пристроях відокремлюється й основна маса води і механічних домішок. Відділення домішок і води відбувається також при відстоюванні і збереженні нафти в промислових резервуарах. Присутність у нафті механічних домішок утруднює її транспортування по трубопроводах і переробку, викликає ерозію внутрішніх поверхонь труб нафтопроводів і утворення відкладень у теплообмінниках, печах і холодильниках, що приводить до зниження коефіцієнту теплопередачі, підвищує зольність залишків від перегонки нафти (мазуту і гудронів), сприяє утворенню стійких емульсій. Крім

того, у процесі видобутку й транспортування нафти відбувається вагома втрата легких компонентів нафти, метан, етан, пропан і т. д. включаючи бензинові фракції, приблизно до 5 % від фракцій, що википають до 100° С. З метою зниження витрат на переробку нафти, викликаних втратою легких компонентів і надмірним зношуванням нафтопроводів і апаратів переробки, нафта піддається попередній обробці. Для скорочення втрат легких компонентів здійснюють стабілізацію нафти, а також застосовують спеціальні герметичні резервуари зберігання нафти. Від основної кількості води й твердих частинок нафту звільняють шляхом відстоювання в резервуарах на холоді або при підігріві. Остаточо їх зневоднюють і знесолюють на спеціальних установках. Однак вода й нафта часто утворюють важко роздільну емульсію, що сильно сповільнює або навіть перешкоджає зневоднюванню нафти. У загальному випадку емульсія – це система із двох взаємно нерозчинних рідин, у яких одна розподілена в іншій у зваженому стані у вигляді дрібних крапель.

Існують два типи нафтових емульсій: нафта у воді, або гідрофільна емульсія, і вода в нафті, або гідрофобна емульсія. Частіше зустрічається гідрофобний тип нафтових емульсій. Утворенню стійкої емульсії передують зниження поверхневого натягу на границі розділення фаз і створення навколо частинок дисперсної фази міцного адсорбційного шару. Такі шари утворюють треті речовини - емульгатори. До гідрофільних емульгаторів належать лужні мила, желатин, крохмаль. Гідрофобними є добре розчинні в нафтопродуктах лужноземельні солі органічних кислот, смоли, а також дрібнодисперсні частинки сажі, глини, оксидів металів тощо.

При переробці нафти основна маса процесів супроводжується хімічними реакціями, розчиненням, адсорбцією, абсорбцією і змочуванням поверхонь реакторів, що протікають з поглинанням чи виділенням тепла. Тепловий ефект процесу в цілому складається з теплот цих етапів.

Переробка нафти на нафтопереробних заводах включає такі основні технологічні процеси:

- первинна переробка нафти – знесолення нафти (видалення солей і води), первинна перегонка нафти (розділення на фракції для наступної переробки або використання як товарної продукції), вторинна перегонка отриманих фракцій, бензину (розділення на вужчі погони);
- термічні процеси – термічний крекінг (додаткове отримання світлих нафтопродуктів термічним розкладанням залишків від перегонки), вісбрекінг (покращення якості котельного палива), коксування (отримання нафтового коксу, виробництво додаткових кількостей світлих нафтопродуктів із важких залишків);
- термокаталітичні процеси – каталітичний крекінг (додаткове отримання високооктанового бензину і дизпального термічним розкладанням важких фракцій у присутності каталізатора), каталітичний риформінг (каталітичне перетворення бензинових фракцій для отримання високооктанових вуглеводнів, індивідуальних ароматичних вуглеводнів і водню), гідроочищення дистилатів, мазутових і гудронових сірчистих залишків, гідрокрекінг

- (додаткове отримання світлих нафтопродуктів каталітичним розкладанням важких залишків у присутності водню);
- очищення світлих нафтопродуктів – сірчаноокислотне і лужне очищення, демеркаптанізація (очищення від меркаптанів), каталітична деароматизація (для отримання деароматизованих реактивних палив і бензинів-розчинників);
 - виробництво ароматичних вуглеводнів – екстракція ароматичних вуглеводнів, ізомеризація та розділення ксилолів, деалкілування ароматичних вуглеводнів, диспропорціонування і трансалкілування;
 - виробництво олив – сірчаноокисотно-лужне очищення, деасфальтизація гудрону, очищення селективними розчинниками, парними розчинниками, депарафінізація, гідрокрекінг, адсорбційне очищення, контактне і перколяційне доочищення, гідроочищення;
 - виробництво парафінів;
 - виробництво інших різних нафтопродуктів (бітумів, технічного вуглецю, присадок до олив тощо) [50].

4.5 Основні види нафтопродуктів, які отримують при переробці нафти

Із нафти на нафтопереробних заводах виробляють дуже багато нафтопродуктів, основними із яких є:

- горючі гази (нафтозаводські, скраплені);
- авіаційні та автомобільні бензини;
- паливо для реактивних двигунів;
- дизельне пальне;
- нафтове (котельне) паливо (мазут);
- нафтове паливо для газотурбінних устаткувань;
- гас і лігроїн;
- розчинники;
- нафтові парафіни;
- церезини;
- нафтові бітуми;
- нафтові кокси;
- мастильні матеріали (оливи, мастила);
- присадки до олив;
- ароматичні вуглеводні (бензол, толуол, ксилоли, нафталін);
- сировина для нафтохімічного синтезу.

4.6 Класифікація рідкого палива

Залежно від призначення рідке паливо поділяється на такі основні групи:

- паливо для двигунів з іскровим запаленням - бензини авіаційні та автомобільні;

- паливо для турбореактивних і турбогвинтових двигунів - гас авіаційний;
- паливо для двигунів із запаленням від стиснення – дизельне паливо;
- котельне та пічне паливо.

Авіаційні та автомобільні бензини відносяться до карбюраторного палива.

Авіабензин є сумішшю високооктанових бензинів, етилової рідини і антиокислювача. Марки бензинів та їх фізико-хімічні та експлуатаційні показники визначено ДСТУ 3464-96. Чисельник дробу в марці відповідає октановому числу, знаменник - сорт бензину.

Детонаційні властивості авіабензину оцінюють по октановому числу та сортності. Сортність бензину показує у відсотках потужність, яку можна розвинути на багатій суміші палива з повітрям (з відносно надмірною кількістю палива) до початку детонації в порівнянні з потужністю, що розвивається тим же двигуном на чистому ізооктані.

Лігроїни та гаси – це суміші фракцій прямої перегонки нафти з відповідними продуктами термічного крекінгу. Лігроїн має октанове число не менше 54.

Промисловістю виробляється кілька видів гасу: авіаційний, технічний, освітлювальний гас та ракетне паливо. Технічний гас використовується як технологічне паливо в апаратах для різання металів, а також як засіб для промивання деталей, механізмів та видалення продуктів корозії.

Карбюраторні палива повинні володіти низькими температурами застигання та помутніння: високою хімічною стабільністю та мінімальною схильністю до смолоутворення; не повинні містити водорозчинних кислот та лугів, води та механічних домішок. В автомобільні бензини допускається додавання присадок, що покращують їх антидетонаційні властивості (антидетонатори). Як антидетонатори застосовують тетраетилсвинець, що підвищує октанове число палива. Бензини з такою присадкою називаються етилованими. Негативна властивість цих бензинів - сильна токсичність, тому поводитися з ними слід надзвичайно обережно, не допускаючи їх потрапляння на шкіру та всередину організму. Відмінним є колір цих бензинів: жовтий, оранжевий чи зелений.

Дизельне паливо - паливо для транспортних дизельних двигунів повинно мати такі властивості:

- мати високу теплоту згоряння та гарну займистість для зручності запуску двигуна у будь-яку пору року, забезпечення його м'якої та економічної роботи;
- мати оптимальну в'язкість, що забезпечує гарну якість розпилювання палива;
- не містити механічних домішок, води, розчинних кислот, лугів, великої кількості сірки;
- не утворювати нагару, смолистих та лакових відкладень на деталях паливної апаратури та циліндропоршневої групи двигунів.

Залежно від умов застосування дизельне паливо поділяють на марки:

- Л - літнє, рекомендоване для експлуатації при температурі навколишнього повітря мінус 5° С і вище;

- Е - міжсезонне, що рекомендується для експлуатації при температурі навколишнього повітря мінус 15° С і вище;
- З - зимове, рекомендоване для експлуатації при температурі навколишнього повітря до мінус 25° С (гранична температура - не вище мінус 25° С) і до мінус 35° С (гранична температура - не вище мінус 35° С);
- А - арктична, рекомендована для експлуатації при температурі навколишнього повітря мінус 45° С і вище [41, 50].

4.7 Дизельне паливо

Дизельне паливо - рідкий продукт, який використовується як паливо в дизельному двигуні внутрішнього згоряння. Зазвичай під цим терміном розуміють паливо, що виходить із гасово-газойлевих фракцій прямої перегонки нафти.

Основними споживачами дизельного палива є залізничний транспорт (тепловози, автомотриси, дизель-поїзди), вантажний автотранспорт, автобуси, водний транспорт, військова техніка, дизельні електрогенератори, сільськогосподарська техніка, а також легковий дизельний автотранспорт.

Розрізняють дистилятне малов'язке - для швидкохідних, і високов'язке, залишкове, для тихохідних (тракторних, суднових, стаціонарних та ін) двигунів. Дистилятне складається з гідроочищених гасово-газойлевих фракцій прямої перегонки і до 1/5 з газойлів каткрекінгу та коксування. В'язке паливо для тихохідних двигунів є сумішшю мазутів із гасово-газойлевими фракціями. Теплота згоряння дизельного палива в середньому становить 42624 кДж/кг (10180 ккал/кг).

У загальному випадку дизельне паливо, що застосовується для дизельних двигунів, має відповідати вимогам, викладеним у національному стандарті ДСТУ 7688:2015.

Розрізняють так зване зимове та літнє дизельне паливо. Основна відмінність у температурі граничної фільтрації та температурах помутніння та застигання, зазначеної в стандартах цього палива. Виробництво зимового палива коштує дорожче, але без попереднього підігріву неможливо використовувати літнє паливо, наприклад, при -10° С. Ще однією проблемою є підвищений вміст води у дизельному паливі. Вода відшаровується при зберіганні дизпалива і збирається внизу, оскільки щільність дизпалива менше 1 кг/л. Водяний заток у магістралі повністю блокує роботу двигуна.

Основний показник дизельного палива це цетанове число. Цетанове число характеризує здатність палива до займання в камері згоряння і дорівнює об'ємному вмісту цетану в суміші з α -метилнафталіном, яке в стандартних умовах має однакову займистість порівняно з дослідженим паливом. Температура спалаху для дизельного палива повинна бути не нижче 55° С. Температура перегонки для дизельного палива повинна бути не нижче 200 і не вище 350° С.

Останнім часом у рамках боротьби за екологію у багатьох країнах жорстко нормований вміст сірки. Під сіркою тут розуміється вміст сірчистих сполучень - меркаптанів ($R-SH$), сульфідів ($R-S-R$), дисульфідів ($R-S-S-R$), тіофенів, тіофанів та ін, а не елементарна сірка як така; R - вуглеводневий радикал. Вміст сірки в нафті знаходиться в межах від 0,15% до 5...7% (важкі бітумінозні нафти);

допустимий вміст у деяких залишкових паливах – до 3 %, у судновому паливі – до 1 %, а за останніми нормативами Європи допустимий вміст сірки у дизельному паливі – не більше 0,001 % (10 ppm). Зниження вмісту сірки в дизельному паливі, як правило, призводить до зменшення його змащувальних властивостей, тому для дизельного палива з ультранизьким вмістом сірки обов'язковою умовою є наявність змащувальних присадок.

Фракційний склад дизельного палива визначають шляхом нагрівання 100 мл палива у спеціальному приладі. Пари охолоджують, отриманий конденсат фіксують у мірному циліндрі. У процесі розгону ключовими точками є температури википання 50 % і 96 %. Температура википання 50 % характеризує пускові властивості палива, 96 % - схильність до нагароутворення та повноту згоряння.

За кліматичними умовами використання встановлено такі марки дизельного палива:

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

За рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи дизельного палива: Євро3, Євро4, Євро5.

Умовна позначка дизельного палива має містити:

- літери ДП (позначення дизельного палива);
- літерне позначення марки (Л, 3, Арк);
- символ екологічного класу (Євро3, Євро4, Євро5);
- символ визначення вмісту (об'ємної частки) метилових/етилових естерів жирних кислот (В0 - у разі їх відсутності; В5 - не більше ніж 5 %; В7 - понад 5 % та не більше ніж 7 %) [22, 25, 30].

Дизельне паливо за своїми фізико-хімічними показниками має відповідати вимогам та нормам, які наведено у табл. 1.7.

Таблиця 1.7

Фізико-хімічні показники дизельного палива

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	3	Арк	
1	2	3	4	5
Цетанове число, не менше	51	49	48	Згідно з ГОСТ 3122 або ДСТУ ISO 5165 та ДСТУ-Н 7622, або ASTM D613, або EN 15195, або EN 16144

1	2	3	4	5
Цетановий індекс, не менше		46,0		Згідно з ДСТУ ISO 4264 або ГОСТ 27768 та 9.3, або ASTM D4737
Густина за температури 15° С, кг/м ³ , у межах	820-845	800-845	800-840	Згідно з ДСТУ EN ISO 3675 або ДСТУ ISO 12185, або ДСТУ ГОСТ 31072, або ASTM D1298, або ASTM D4052
Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше:				Згідно з ДСТУ EN 12916 ¹ або EN 12916 ²
Євро5		8		
Євро4		11		
Євро3		11		
Вміст сірки, мг/кг, не більше				Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO 20846 ² , або EN ISO 20846, або EN ISO 13032
Євро5		10		
Євро4		50		Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO, або ДСТУ ISO, або ДСТУ EN ISO, або ASTM D4294, EN ISO 20846, або EN ISO 13032
Євро 3		350		Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO, або ДСТУ ISO, або ДСТУ EN ISO

1	2	3	4	5
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче		55		Згідно з ДСТУ ISO 2719 або ГОСТ 6356, або ASTM D93
Євро6		55		
Євро4		40		Згідно з ДСТУ EN ISO 10370 або ГОСТ 8852, або ГОСТ 19932, або ASTM D189, або ASTM D524, або EN ISO 10370
Євро3		40		
Коксованість 10-відсоткового залишку, % (мас.), не більше		0,30		Згідно з ДСТУ EN ISO 6245 або ГОСТ 1461, або ASTM D482
Зольність, % (мас.), не більше		0,01		Згідно з ДСТУ ISO 12937 або ГОСТ 2477
Масова частка води, % (мг/кг), не більше		0,02 (200)		Згідно з ДСТУ EN 12662 або ГОСТ 6370
Масова частка домішок, мг/кг, не більше		24		Згідно з ДСТУ EN ISO 2160 або ГОСТ 6321, або ASTM D130
Корозія мідної пластинки (3 год за температури 50°С), клас, не більше		1		Згідно з ДСТУ ISO 12205 або ДСТУ 7684, або ASTM D 2274
Окиснювальна стабільність:				Згідно з EN 15751
- г/м ³ З, не більше		25		
або				
- год, не менше		20		
Змащувальна здатність: діаметр плями зносу за температури 60°С, мкм, не більше		460		Згідно з ДСТУ ISO 12156-1
Кінематична в'язкість за температури 40°С, мм ² /с, у межах	2,00-4,50	1,50-4,00	1,50-4,00	Згідно з ДСТУ ГОСТ 33 або ASTM D445, або EN ISO 3104

1	2	3	4	5
Фракційний склад: - за температури 250° С, випаровується, % (об.), не більше - за температури 350° С, випаровується, % (об.), не менше - 95 % (об.) переганя- ється за температури, ° С, не вище		65		Згідно з ГОСТ 2177 (метод А), або ДСТУ ISO 3924, або EN ISO 3405, або ASTM D86
Об'ємна частка метило- вих/етилкових естерів жирних кислот, %:		85		
- для дизельних палив В0		360		
- для дизельних палив В5	Не більше ніж 5	0		Згідно з ДСТУ EN 14078 ³ або EN 14078
- для дизельних палив В7	Понад 5 та не більше ніж 7			
Гранична температура фільтрованості, ° С, не вище	-5	-20	-30	Згідно з ДСТУ EN 116 або ГОСТ 22254, або EN 16329
Температура помут- ніння, ° С, не вище	-	-	-20	Згідно з ГОСТ 5066 (метод Б) або ДСТУ ISO 3015, або ASTM D 2500
Вміст марганцю, мг/дм ³ , не більше	-	-	2,0	Згідно з EN 16576

4.8 Котельне паливо

Рідке котельне паливо є важкими нафтовими залишками від переробки нафти способами прямої перегонки і крекінгу, а також продукти переробки кам'яного вугілля, горючих сланців та смол.

В даний час виробляється котельне паливо в основному наступних видів: мазут флотський і топковий, масло сланцеве і паливо для мартенівських печей за.

Флотські мазути одержують двох марок: Ф5 та Ф12. Вони призначені для опалення корабельних, суднових та деяких стаціонарних установок. Порівняно з котельним паливом інших видів, флотські мазути містять менше механічних домішок, води, золи, сірки та обмежену кількість смолистих речовин.

Мазут топковий виробляється трьох марок: 40, 100 та 200, які різняться між собою в'язкістю, температурою застигання та величиною теплоти згорання. Залежно від умов застосування та будови обладнання використовується мазут відповідної марки.

За кількістю сірки, що міститься в мазуті, він поділяється на:

- малосірчистий із вмістом сірки не більше 0,5 %;
- сірчистий із вмістом сірки не більше 2,0 %;
- високосірчистий із вмістом сірки не більше 3,5 %.

Характеристика якості нафтового мазуту за основними показниками наведена в табл. 1.8.

Таблиця 1.8

Характеристика якості нафтового мазуту

Характеристики	Норми якості для мазуту марок				
	Ф5	Ф12	40	100	200
1	2	3	4	5	6
Температура спалаху в° С: що визначається у відкритому тиглі, не нижче	-	-	90	110	140
що визначається в закритому тиглі, не нижче	80	90	-	-	-
Температура застигання в° С не вища	-5	-8	+10	+25	+36
Нижча теплота згорання у перерахунку на сухе паливо в кДж/кг:					
малосірчисте та сірчисте	9870	9870	9700	9650	9600
високосірчисте	-	-	9550	9500	9450

Питома вага топкового мазуту для марки 100 встановлена в розмір не вище 1,015 при 20° С.

Мазут марки 200 через високу його в'язкість і температуру застигання по-ставляється споживачам тільки трубопроводами безпосередньо з нафтопереробних заводів. Розігрів цього палива гострим паром заборонено.

При спалюванні мазуту важливе значення має його зміна в'язкості в залежності від зміни температури.

4.9 Отримання штучного рідкого палива з твердого палива

Рідке паливо одержують із смол, які утворюються при напівкоксованні вугілля, торфу та сланців. Процес одержання смол протікає так: паливо нагрівають до 100-150° С для видалення вологи. При подальшому нагріванні до 200-250° С починається виділення газів, що не конденсуються. При температурі близько 350° С разом з цими газами виділяються пари смол, вихід яких досягає максимуму при температурі до 400-450° С. Потім вихід парів смоли зменшується і на момент підігріву палива до 500-550° С припиняється зовсім. При цій температурі смола виводиться із зони нагріву. Одержувана смола за своїм складом нагадує нафту і використовується для вироблення штучного рідкого палива і мастил.

Отримання рідкого палива зі смоли проводиться її перегонкою з наступним крекінгом важких залишків. Фракції при перегонці смоли піддаються очищенню, після якого одержується товарна продукція [41, 50].

5. Газоподібне паливо

5.1 Види газоподібного палива та його переваги

Газоподібне паливо за своїм походженням поділяють на природне та штучне. Природні гази діляться на власне природні, що видобуваються з чисто газових родовищ, і попутні, що виділяються при видобутку нафти з нафтогазових родовищ. Штучне газоподібне паливо одержують сухою перегонкою палива (коксовий і напівкоксовий газ), перегонкою та крекінгом нафти (промисловий нафтовий газ), газифікацією твердого палива (генераторний газ) та при виплавці чавуну в доменних печах (доменний або колошниковий газ).

До складу газоподібного палива входить горюча частина та негорючі гази (вуглекислота, азот, кисень).

Перед подачею споживачам газ очищується від смолистих речовин, вугільного та мінерального пилу та інших сторонніх домішок. Газоподібне паливо має суттєві переваги в порівнянні з іншими видами палива. Газ - найдешевший вид палива. Віг згоряє, при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря, в результаті підвищується температура горіння, а також коефіцієнт використання тепла. При спалюванні газ не дає твердих залишків (золи та шлаків). подача газу легко регулюється, що дозволяє повністю автоматизувати процеси горіння.

До недоліків газоподібного палива відноситься можливість витoku його зі сховищ і трубопроводів через різні нещільності, можливість утворення вибухових сумішей при змішуванні з повітрям та небезпека отруєння газом. Однак за суворого дотримання правил користування газоподібним паливом ці недоліки можуть бути усунені.

Газоподібне паливо широко застосовується в промисловості та для комунально-побутових потреб.

5.2 Природний газ, його склад та властивості

Більшість природних газів складається з вуглеводнів метанового ряду: метану CH_4 , етану C_2H_6 , пропану C_3H_8 , бутану C_4H_{10} і т. д. Найбільша (за обсягом) частка цих вуглеводнів припадає на метан, вміст якого в газах чисто газових родовищ сягає 90...98%. Крім паливної частини в природних газах містяться баластні гази у вигляді азоту, невеликої кількості двоокису вуглецю, а також водяної пари. У деяких газах є сірководень. У попутних газах міститься менша кількість метану та підвищена кількість інших більш важких вуглеводнів, тому теплота згоряння цих газів вище. Потенційні запаси природного газу в країні в даний час становлять понад 1,3 трлн m^3 . Найбільші поклади газу зосереджені в Харківській, Полтавській та Львівській областях.

Видобуток природних газів здійснюється шляхом буріння свердловин до потрібного рівня родовища. Під тиском пластового тиску газ зі свердловини подається в газозбірні мережі промислу. Для передачі природного газу в пункти споживання споруджено мережу магістральних газопроводів, довжина яких нині становить понад 11,6 тис. км.

Зростає виробництво зріджених газів. Зріджені гази складаються з газоконденсатних вуглеводнів, що легко конденсуються при стисканні. Основними їх компонентами є пропан і бутан.

Зріджені гази застосовують у хімічній технології, а також як паливо в комунально-побутових і невеликих промислових установках і випускають трьох марок: технічний пропан, технічний бутан і суміш технічного пропану та бутану.

Зріджені гази зберігають у балонах під тиском 12...16 kg/cm^2 .

Природний скраплений газ - хороше моторне паливо за рядом властивостей перевершує рідке паливо. Він має більш високі антидетонаційні властивості, краще змішується з повітрям. Використання його в двигунах внутрішнього згоряння економічно вигідно.

5.3 Штучні гази

Напівкоксний газ - це побічний продукт, що отримується в процесі напівкоксування твердого палива. Він характеризується високим вмістом вуглеводнів, причому основною горючою частиною цього газу є метан. Теплота згоряння напівкоксного газу залежить від вихідної сировини: при напівкоксуванні кам'яного вугілля вона становить від 20930 до 27200 kJ/m^3 . Напівкоксний газ застосовується в основному для обігріву печей напівкоксування та частково для побутових потреб.

Коксовий газ – побічний продукт коксування кам'яного вугілля. У коксовому газі в середньому міститься понад 50% водню. Теплота згоряння коксового газу 16800...8800 kJ/m^3 . Коксовий газ застосовується для опалення коксових печей, власних потреб коксохімічних цехів і для комунально-побутових потреб.

Надлишки його можна спалювати в топках котельних установок металургійних комбінатів.

Нафтовий газ, що отримується при перегонці нафти, містить значну кількість пропану та етану. Нафтовий газ знаходить широке застосування як паливо, яке використовується для отримання зріджених газів і є цінною хімічною сировиною. Теплота згоряння нафтових газів дуже висока і становить зазвичай більше 46 000 кДж/м³.

До штучних газів відносяться також генераторні гази, які одержуються при газифікації твердого палива.

Газифікація твердого палива - це термохімічний процес перетворення паливної частини твердого палива на газоподібне, при взаємодії кисню повітря з вуглецем палива. У результаті газифікації в золі та шлаках не повинно залишатися невикористаного палива, тому така газифікація іноді називається беззалишковою. Для газифікації використовують різне паливо: дрова, торф, кам'яне вугілля, антрацит/кокс, та ін.

Паливо, що газифікується, повинне мати однакові за розмірами шматки, обмежений вміст зовнішньої вологи і золи. Температура плавлення золи має бути досить високою.

Вид дуття, що застосовується, визначає склад і властивості генераторного газу. Для дуття використовують атмосферне повітря (повітряний газ), водяні пари (водяний газ) та паро-повітряну суміш (змішаний газ). Здійснюється газифікація в спеціальних установках - газогенераторах.

Залежно від взаємного напрямку руху потоків повітря та газифікованого палива розрізняють прямий, зворотний та горизонтальні процеси газифікації. Найбільш широке поширення отримав процес газифікації прямого типу, схема якого показана на рис. 1.2.

За цією схемою паливо у газогенератор подається зверху, а потік дуття і повітряний газ, що утворюється, рухаються знизу вгору назустріч руху палива. Летючі речовини, що виділяються в зоні сухої перегонки, повністю переходять до складу одержуваного газу. Тому у разі газифікації палива з великим виходом летючих речовин до складу газу потрапляє багато смолистих речовин, які утворюють нагар у двигунах та інші небажані явища.

Для отримання безсмольного газу застосовують газогенераторні процеси зі зворотним процесом газифікації, при якому паливо і потік дуття рухаються в одному напрямку зверху вниз. За такої схеми продукти сухої перегонки проходять через розпечену зону газифікації, де вони під дією високої температури розщеплюються і частково згоряють. Виходить газ, вільний від смолистих речовин. Порівняно низька теплота згоряння повітряного газу обмежує застосування його як палива.

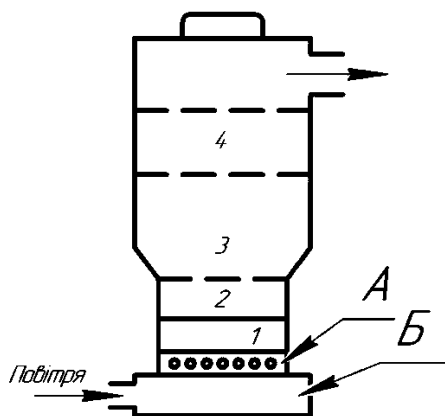


Рисунок 1.2 – Принципова схема прямого процесу газифікації
 1 – зона горіння; 2 – зона відновлення; 3 – зона сухої перегонки;
 4 – зона підсушування; А – колосникова решітка; Б – зольник.

При газифікації палива, що містить мало гігроскопічної вологи (антрацит, кокс), для дуття використовують водяну пару. При продуванні розжареного шару коксу водяною парою отримують водяний генераторний газ.

При газифікації антрациту в стаціонарних газогенераторах частка вологи становить 0,3...0,5 кг на 1 кг палива. Водяний газ використовується як сировина в хімічній промисловості, крім того, застосовується як технологічне та побутове паливо.

Змішаний генераторний газ – виходить при газифікації твердого палива на пароповітряному дутті. Він знаходить широке застосування при опаленні промислових печей, а також як паливо для газових двигунів. У табл. 1.9 наведено склад генераторного газу.

Таблиця 1.9

Склад генераторного газу

Назва газу	Приблизний середній склад газу, %						Нижча теплота згорання в ккал/м ³
	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂ , H ₂ S	N	O ₂	
Повітряний	32-33	0,5-0,9	-	0,5-1,5	64-66	-	3770-4600
Водяний	34-40	47-52	0,3-0,6	5-7	2-6	0,1-0,2	10050-11750
Змішаний	24-30	12-14	0,5-0,7	5-7	52-55	0,1-0,3	4600-6700

6. Розрахунок витрати палива

6.1 Норми витрати палива

Норма витрати - це максимально допустима кількість палива для виробництва одиниці продукції (або роботи) встановленої якості з урахуванням запланованих організаційно-технічних умов виробництва.

Норми витрати палива розробляються в обов'язковому порядку всіма підприємствами з добовим споживанням на виробничі потреби в кількості 2 т і вище (в умовному обчисленні).

Основними споживачами палива на залізницях є локомотиви – вони витрачають понад 90% всього палива, споживаного залізничним транспортом. Решта палива витрачається на котельнях, електростанціях, ремонтних заводах, для опалення вагонів, рефрижераторних поїздів, а також на комунально-побутові потреби.

Норми для тепловозів встановлюються у кілограмах натурального палива. Для виробничо-технічних та комунально-побутових потреб витрати нормують на одиницю виміру в кілограмах умовного (7000 кал) палива. Для електростанцій норми визначаються в кілограмах на 1 кВт·год, для котелень на 1 Гкал виробленого тепла. Нормування витрати палива на опалення будівель проводиться на 1 м³ м² будівель на добу залежно від кліматичних умов, на опалення вагонів – на вагоно-добу.

6.2 Нормування витрат електричної енергії і дизельного палива

Нормування витрат електричної енергії і дизельного палива локомотивами базується на даних тягово-енергетичних паспортів локомотивів, а також загальних формулах і положеннях тягових розрахунків.

При нормуванні визначаються витрати електричної енергії і палива відповідні справному стану локомотивів, які експлуатуються в умовах, що забезпечують використання прогресивних методів обслуговування і водіння поїздів.

Тягово-енергетичні паспорти локомотивів повинні коригуватися за обліком робіт, що виконуються по удосконаленню конструкції сучасних локомотивів, якщо при цьому змінювались їх тягові характеристики або к.к.д.

Норми витрат електроенергії і палива встановлюють для кожної серії локомотивів, які працюють на нормованій ділянці, в залежності від характеру його профілю, показників, що плануються та способів застосування рухомого складу, роду поїздів і вагонів, а також метеорологічних умов нормованого періоду.

Норма витрат електроенергії і палива встановлюється на 10 тис. ткм брутто (без урахування маси локомотива) для електрорухомого складу в кВт·г, а для тепловозів в кілограмах натурального палива.

Технічні норми витрат електроенергії і палива встановлюються на наступні види роботи локомотивів:

- на 10 тис. тонно-кілометрів брутто виконаної роботи при слідуванні в голові поїзда, подвійною тягою та при підштовхуванні робота розраховується по вазі брутто складу поїзда, не враховуючи вагу локомотива. Роботу моторвагонного рухомого складу і дизель-поїздів визначають по розрахунковій масі поїзда;
- на 100 локомотиво-км одиночно слідуючих локомотивів або при поверненні підштовхувачів на 1 годину маневрової роботи, яка проводиться: в парках і на горочних коліях сортувальних станцій, на проміжних станціях, на під'їзних або деповських коліях;

– на 1 годину простою в депо або на станційних коліях в очікуванні роботи. Витрати електроенергії та палива на стоянку локомотива на проміжних станціях, передбачений графіком руху входить у поїзну норму.

Норми витрат електричної енергії для локомотивних бригад при наявності лічильників на електрорухомому складі встановлюють без обліку втрат в контактній мережі і на тягових підстанціях.

Норми витрат електроенергії для депо у цілому як при індивідуальному обліку електроенергії, так і при колективному обліку по усьому електрорухомому складі повинні враховувати втрати в обладнаннях електропостачання, що встановлюються на основі дійсних інструкцій і нормативів Головного управління електрифікації та електропостачання Укрзалізниці.

Норми витрат електроенергії та палива установлюють для кожного тягового плеча і напрямку за видами поїздів, передбачених графіком руху (транзитні, місцеві, навантажені, порожні, швидкі, пасажирські тощо), для маневрових локомотивів - по станціях та парках для збільшених видів роботи.

Норми витрат електроенергії та палива для локомотивів, на які відсутні тягові, струмові та витратні характеристики (ЧС-7, ЧС-8, ДЕ-1, електропоїздів ЕПЛ-2Т, ЕПЛ-9Т, та дизель-поїзда ДЕЛ-001) необхідно розраховувати статистичними методами, відповідно до конкретних умов експлуатації.

На підставі технічних норм по кожному типу локомотивів та видах роботи встановлюють технічну норму для депо, визначаючи витрати палива і електроенергії локомотивним парком депо, віднесений на 10 тис. ткм брутто роботи, що планується по перевезенню вантажів та пасажирів.

6.3 Фактори, що впливають на витрату енергії на тягу поїздів

Про важливість нормування та контролю витрати енергії в роботі локомотивних депо говорить хоча б той факт, що витрати енергії на тягу поїздів становлять близько 12...14 % від експлуатаційних витрат на перевізну роботу, а в локомотивному господарстві вони доходять до 40 % від загальних експлуатаційних витрат. Нижче перераховані фактори, які впливають на витрату на тягу.

1. Вага состава Q , кН. На тягу впливає не тільки вага, але і те, з яких типів вагонів сформовано состав, яке осьове навантаження у кожному вагоні в составі, тому що локомотив переміщує не вагу состава, а долає опір руху поїзда. Опір руху состава залежить від типу колії, швидкості руху, типу вагонів в составі та осьового навантаження

$$\omega_0'' = a + \frac{b}{q_0} + \frac{cv}{q_0} + \frac{dv^2}{q_0}, \quad (1.25)$$

де коефіцієнти a, b, c, d залежать від типу вагонів, типу підшипників та типу колії.

2. Схеми формування состава (цистерни, платформи, криті та т.п.), їх технічний стан і взаємне розташування.

3. Тип локомотива і число секцій.

4. Профіль і план колії.

5. Допустимі швидкості руху поїзда по перегонах і станціях, постійні та тимчасові попередження. На витрати енергії впливає не тільки величина зниження швидкості, але план і профіль ділянки, де поїзд знижує швидкість.

6. Заданий графік руху:

- а) час ходу по перегонах, тобто задана технічна швидкість руху;
- б) число та місця зупинок.

7. Метеорологічні фактори:

- а) температура зовнішнього повітря;
- б) швидкість і напрям вітру.

6.4 Визначення витрати палива на ведення поїзда

Розрахунок витрати палива тепловозом. Розрахунок витрат палива виконують за побудованими на графіку кривих швидкості та часу руху поїзда на заданій ділянці (або розрахованим аналітичним методом). На кривій швидкості та часу роблять розмітку режимів роботи локомотива – тяга, холостий хід і гальмування. Загальна витрата палива E_T , кг, тепловозом за поїздку обчислюється за формулою:

$$E_T = \sum_{i=1}^n G_i \Delta t_i + g_x t_x + g_{ct} t_{ct}, \quad (1.26)$$

де G_i – витрата палива, відповідна швидкості руху поїзда в режимі тяги на певній позиції контролера машиніста на i -му відрізку шляху, кг/хв;

Δt_i – час руху поїзда по i -му відрізку шляху, хв;

g_x – витрата палива тепловозом на холостому ході, кг/хв;

t_x – час роботи дизеля на холостому ході, хв;

g_{ct} – витрата палива тепловозом на стоянках і під час руху по станційних коліях, кг/хв;

t_{ct} – час роботи дизеля на стоянках і під час руху по коліях станцій, хв.

У сучасних тепловозах в режимі тяги витрата палива залежить від позиції контролера та мало залежить від швидкості руху.

Значення g_x вибирають в залежності від частоти обертання колінчастого вала дизеля за витратними характеристиками для холостого ходу.

На стоянках витрата палива g_x знаходять в табл. 1.10, де наведені значення частоти обертання колінчастого вала тепловозних дизелів на холостому ході. У цій же таблиці дані значення g_x , прийняті в припущенні про рух одиночних тепловозів по коліях станцій на першій позиції контролера машиніста зі швидкістю 10...15 км/год.

Питому витрату палива знаходять для оцінки та порівняння роботи локомотивів з різними поїздами та на різних напрямках. Для цього загальну витрату палива відносять до вимірника виконаної перевізної роботи та отримують питому витрату палива на вимірник e_n , кг/(10^4 т·км),

$$e_{\Pi} = \frac{E_{\Pi}}{M_{\rho} S} \cdot 10^4, \quad (1.27)$$

де M_{ρ} – маса состава, т;

S – довжина ділянки, км.

Щоб порівняти різні види тяги та витрату різних сортів палива, введено поняття «умовне паливо». Під «умовним паливом» розуміють паливо, питома теплота згоряння якого дорівнює 29,3 МДж/кг.

Таблиця 1.10

Питома витрата палива тепловозами під час роботи на холостому ході

Серія тепловоза (дизель-поїзда)	Холостий хід			Витрата палива у разі руху де- повськими та станційними ко- ліями, кг/хв
	Частота обер- тання, хв ⁻¹	Витрата па- лива одним ди- зелем, кг/хв	Витрата палива тепловозом (ди- зель-поїздом), кг/хв	
ТГМЗА	650	0,13	0,13	0,30
ЧМЭ2	350	0,14	0,14	0,30
ЧМЭ3	350	0,15	0,15	0,30
ТЭ10, ТЭП10	400	0,38	0,38	0,50
2ТЭ10, 2ТЭ10Л (В, М, С)	400	0,38	0,76	1,00
ТЭП70	350	0,27	0,27	2,00
ТЭМ2	300	0,10	0,10	0,30
М62	400	0,42	0,42	0,30
2М62	400	0,42	0,84	0,60
2ТЭ116	350	0,25	0,50	2,00
ДР1	700	0,14	0,28	0,30
Д1	530	0,14	0,28	0,30

Питома теплота згоряння дизельного палива дорівнює 42,7 МДж/кг. Щоб перерахувати витрату дизельного палива в витрату умовного палива, вводиться еквівалент $E = 42,7 / 29,3 = 1,45$. В результаті виходить вираз для розрахунку питомиї витрати умовного палива $e_{\text{умов}}, \text{кг}/(10^4 \text{т} \cdot \text{км})$,

$$e_{\text{умов}} = e_{\Pi} E. \quad (1.28)$$

6.5 Технічне нормування витрат палива та електроенергії

Без знання норм витрати енергії на одиницю виконаної роботи неможливо ні проектування залізниць ні планування експлуатаційної роботи вже існуючих ліній.

Норми витрати енергії на тягу для засобів транспорту поділяють на дві основні групи:

- планові норми, необхідні для визначення потреби в паливі та електроенергії на одиницю виконаної роботи в кілограмах або ват-годинах на тонно-кілометр або в кілограмах або ват-годинах на пасажиро-кілометр;
- технічні норми, які застосовуються для організації споживання палива та електроенергії й контролю їх використання.

Поопераційні норми витрати енергії встановлюють кількість енергії, витрачену на виконання певних операцій технологічного процесу (на кілометр одиначного пробігу, годину виробництва маневрових операцій певної інтенсивності, виконання вантажно-розвантажувальних та господарських робіт та ін.).

Технічні та поопераційні норми дозволяють контролювати фактичну витрату енергії, що сприяє стимулюванню до її економії.

На залізничному транспорті кількість технічних норм з урахуванням сезонних та ситуаційних змінних умов роботи досягає десятків і сотень тисяч, що практично виключає їх застосування для планування. Тому найчастіше планові норми встановлюють виходячи з досягнутих значень з їх коригуванням на умови роботи, що змінюються: поліпшення технічного стану інфраструктури, рухомого та особливо тягового рухомого складу, організації процесу перевезень і структури вантажо- і пасажиропотоку.

Нормування витрати палива та електроенергії локомотивами ґрунтується на даних тягово-енергетичних паспортів локомотивів, а також на загальних формулах та положеннях тягових розрахунків (Інструкція з технічного нормування витрати електричної енергії та палива тепловозами на тягу поїздів). Під час нормування приймаються витрати палива та електроенергії, що відповідають справному стану локомотивів, з урахуванням прогресивних методів обслуговування локомотивів та керування поїздами.

Норму витрати палива на тягу поїздів n , кг/(10^4 т·км) розраховують за формулою:

$$n = n_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_6 + \frac{\sum E_{jзуп} N_{jзуп} + \sum E_{jпоп} N_{jпоп} + \sum g_{пкст} t_{пкст}}{M_Q L}. \quad (1.29)$$

Тут n_0 – початкова (базова) норма, яка визначається на основі тягово-енергетичного паспорта локомотива, розрахованого за певних умов, в кг/(10^4 т·км брутто).

Як правило, для вантажних поїзних локомотивів тягово-енергетичний паспорт розраховується для чотиривісних вантажних вагонів за певну величину осьового навантаження (зазвичай приймається $q_0 = 175$ кН/вісь), на прямій горизонтальній площадці, при відсутності вітру та плюсових температурах навколишнього повітря. Тягово-енергетичний паспорт локомотива задається графіком

залежно від маси состава M_Q і технічної швидкості руху поїзда v або наступною формулою:

$$n_0 = S + \left(R + \frac{T}{M_Q} \right) \omega_0, \quad (1.30)$$

де M_Q – маса состава, т;

ω_0 – питомий основний опір руху поїзда, Н/кН.

Коефіцієнт K_1 враховує фактичну вантажопідйомність вагонів. Розрахунки показують, що значення K_1 у разі зміни завантаження вагона від порожньої до повної вантажопідйомності коливається приблизно від 2,2 до 0,9.

Коефіцієнт K_2 враховує вплив профілю та плану ділянки, наявність «шкідливих» спусків. Вплив цих факторів визначається величиною еквівалентного ухилу

$$i_e = \frac{\sum i_x l_x + 12 \sum \alpha + \sum (\sum i_{ш} - \omega_{ш}) l_{ш}}{L}, \quad (1.31)$$

де i_x , l_x – ухил та довжина елемента профілю відповідно, ‰, м;

$i_{ш}$, $l_{ш}$ – те ж для шкідливих спусків, ‰, м;

$\omega_{ш}$ – питомий основний опір руху поїзда за середню швидкість руху на шкідливому спуску, Н/кН);

$\sum \alpha$ – сума центральних кутів кривих на ділянці, ° ;

L – довжина всієї ділянки, м.

У середньо-мережевих умовах коефіцієнт K_2 можна визначати за формулою:

$$K_2 = 1 + ai_e, \quad (1.32)$$

де a – коефіцієнт, що залежить від технічної швидкості руху по ділянці.

$$a = 0,705 - 0,00452v. \quad (1.33)$$

Коефіцієнт K_3 враховує додаткову витрату палива у разі низьких температур навколишнього середовища.

Коефіцієнт K_4 враховує додаткову витрату палива у разі наявності вітру.

Коефіцієнт K_5 враховує наявність в складі інших вагонів, опір руху яких відрізняється від прийнятих вагонів під час розрахунку енергетичного паспорта. Цей коефіцієнт можна визначити з відношення опору руху поїзда, в складі якого є вагони іншого типу, до опору руху поїзда, прийнятого для розрахунків енергетичного паспорта:

$$K_5 = \frac{\beta_{ін} \omega_{ін} + \beta_0 \omega_0}{\omega_0}, \quad (1.34)$$

де $\beta_{ін}$ і $\omega_{ін}$ – питомий основний опір руху вагонів, опір руху яких відрізняється від прийнятого для розрахунку енергетичного паспорта за середню технічну швидкість руху поїзда на ділянці та частка вагонів у составі по масі відповідно розрахункового поїзда, Н/кН;

β_0 і ω_0 – питомий основний опір руху вагонів, прийнятих для розрахунку енергетичного паспорта за середню технічну швидкість поїзда на ділянці та частка вагонів у составі по масі відповідно поїзда, прийнятого в розрахунку енергетичного паспорта, Н/кН.

Коефіцієнт K_6 враховує теплотехнічний стан локомотивів. Він може бути визначений на основі даних експериментальних поїздок або даних реостатних випробувань тепловозів в депо.

Витрату палива на тягу поїздів за поїздки можна визначити різними способами:

- аналітичними на основі даних швидкостемірної стрічки, норм витрати енергії на одиницю роботи з урахуванням фактичних характеристик поїзда та ділянки, погодних умов, режиму ведення поїзда (виконаного графіка руху) і величини виконаної роботи в тонно-кілометрах бруто;
- аналітичними на основі побудованої кривої швидкості руху поїзда, режиму його ведення та часу роботи локомотива на різних режимах;
- графоаналітичними на основі тягово-теплотехнічних розрахунків [13, 15, 42-44].

7. Зберігання палива

7.1 Зберігання нафтопродуктів

Нафтове паливо зберігають на паливних складах локомотивного господарства залізниць. На цих складах передбачено виконання наступних операцій: прийом палива із залізничних цистерн у резервуари зберігання; видача з резервуарів на екіпірувальні пункти, крім того, перекачування з одного резервуара в інший; зачищення цистерн (при зливі) в горизонтальний підземний резервуар для забрудненого палива, а також зачищення резервуарів зберігання через спеціальні патрубки за допомогою насосів з подачею трубопроводами в резервуар забрудненого палива; сепарація забрудненого та злив очищеного палива в горизонтальний підземний резервуар з подальшою видачею сепарованого палива на екіпірувальні пункти [41, 50].

Резервуар, в який зливають дизельне паливо, необхідно заздалегідь підготувати, очистити від залишків нафтопродуктів, що раніше зберігалися. Наливні пристрої і трубопроводи повинні бути технічно справними, а також звільнені від залишків нафтопродуктів і промиті. Якщо резервуар частково заповнений, то зливати паливо, що надійшло, можна в тому випадку, якщо дизельне паливо, що зберігається, відповідає ДСТУ і марці пального, яке надійшло.

Паливо з цистерн перекачують зазвичай через верхній люк за допомогою сифонів або насосів із застосуванням стояків.

Щоб не допустити попадання в дизельне паливо пилу, піску та інших домішок, а також води, горловини цистерн покривають на час зливу захисними ковпаками, виготовленими з жерсті або брезента.

У разі надходження дизельного палива в цистерни, які обладнані зливними приладами, злив палива, щоб уникнути засмічення, повинен проводитися закритим способом по трубах.

При перекачуванні нафтопродукту в резервуар, а також при підігріві в резервуарі максимальна температура нафтопродукту повинна бути не менше ніж на 10°C нижче температури спалаху його пари. Температура підігріву в'язких нафтопродуктів допускається не вище 90°C .

Дизельне паливо, як і інші нафтопродукти, може розчиняти в собі повітря і за рахунок кисню, що знаходиться в ньому, окислюватися. Тому в паливі накопичуються смоли, а також інші продукти окислення, що мають знижену розчинність у вуглеводнях палива.

Окислення палива при тривалому зберіганні, а також присутність сторонніх домішок призводить до скупчення в нижніх шарах резервуарів осаду, що не розчиняється. Осад інтенсивно переміщується зі свіжим дизельним паливом, при цьому смолисті продукти, бруд, іржа та паливо утворюють стійку емульсію. Така емульсія займає значний обсяг в резервуарі та в дизельному паливі, вона є вкрай шкідлива. Попадання емульсії разом із паливом у бак тепловоза веде до засмічення фільтрів та всієї паливної апаратури. Тому резервуари регулярно очищають від осаду, а на трубопроводах подачі палива на тепловози встановлюють фільтри тонкого очищення.

Для запобігання потрапляння до сховищ води та осаду необхідно перевіряти якість дизельного палива, що надходить, у нижніх шарах кожної цистерни. У випадках виявлення у цих пробах води, мінеральних кислот, лугів та інших забруднень не можна допускати таке паливо до зливу. Паливо, прийняте до сховищ, слід видавати по можливості після деякого відстоювання та обов'язкового зливу осаду.

У дизельному паливі, що знаходиться на тривалому зберіганні, періодично перевіряють вміст фактичних смол. У разі неприпустимого збільшення паливо замінюють.

Хіміко-технічна лабораторія локомотивного депо систематично здійснює перевірку правильності зберігання нафтопродуктів на складі палива, а також контролює виконання графіка промивання та очищення ємностей, в яких зберігаються нафтопродукти. Крім того, щонайменше два рази на місяць лабораторія відбирає проби нафтопродуктів зі складських ємностей на аналіз.

7.2 Техніка безпеки під час зберігання нафтового палива

Дизельне паливо - легкозаймиста горюча рідина. При нагріванні до певної температури воно загоряється, тому зберігання дизельного палива вимагає виконання особливих правил безпеки.

Усі пристрої та споруди паливно-мастильного господарства локомотивних депо повинні розташовуватися з дотриманням протипожежних норм, а також норм та технічних умов проектування складських підприємств та господарств для зберігання легкозаймистих та горючих рідин.

Необхідно також мати на увазі, що при терті дизельного палива об метал, гуму та тканини виникають заряди статичної електрики.

Електризація палива становить велику небезпеку в експлуатації, оскільки вона є однією з причин виникнення пожеж.

Іноді електризацію палива можна спостерігати при ударі струменя палива об тверду поверхню та розпилення, а також при прокачуванні палива по рукавах та трубопроводах, при проходженні палива через фільтри та в інших випадках. Наелектризовані частки палива віддають свої заряди резервуару. Якщо він не має заземлення, то на його поверхні може накопичитися статична електрична напруга в кілька десятків тисяч вольт. Така напруга для людини безпечна (величина струму при цьому буде дуже мала), але вже при напрузі 400...600 В іскра, що виникає при розряді, може запалити суміш парів палива з повітрям.

З метою захисту від розрядів статичної електрики всю металеву апаратуру, паливопроводи, насоси, зливні пристрої тощо, призначені для зберігання і транспортування легкозаймистих рідин (з температурою спалаху парів 45° С і нижче), обов'язково заземлюють.

Вдихання парів дизельного палива і тривалий їх вплив на шкіру шкідливо відбивається на здоров'ї людини. (На відкритому повітрі пари дизельного палива небезпеки не становлять, оскільки паливо має порівняно погану випаровуваність).

Гранично допустимою концентрацією вважається 0,3 мг дизельного палива в 1 м³ повітря. Надмірно велика концентрація парів дизельного палива для людини смертельна, тому приміщення роздавальної та насосної станції обладнуються припливно-витяжною вентиляцією, а продувні крани насосів повинні мати відвідні трубки, що виводяться за межі будівлі на безпечну висоту.

Тривала дія палива на шкіру людини викликає хронічне захворювання шкірних покривів. Особливу небезпеку становить попадання на шкіру палива під тиском. Тому при поводженні з дизельним паливом необхідно спеціально вивчати і суворо дотримуватись правил техніки безпеки. Особливо це стосується тих, хто працює всередині резервуарів, в яких зберігалось дизельне паливо.

Роботи з ремонту резервуара дозволяються тільки після повного звільнення його від нафтопродукту, ретельного очищення (пропарки, промивання), від'єднання від резервуара всіх трубопроводів, відкриття всіх люків, відбору проби повітря та аналізу її для визначення вибухобезпеки та нешкідливості для здоров'я робітників.

Час перебування у цистерні та резервуарі не повинен перевищувати 15 хв одночасно з наступним відпочинком на відкритому повітрі протягом 5 хв. Температура всередині резервуару при знаходженні в ній робітника повинна бути не більше +35° С.

Для виконання робіт усередині цистерни із зачищення від залишків після зливу нафтопродуктів, робітник обов'язково повинен користуватися встановленим спецодягом, спецвзуттям, шланговим дихальним приладом, а також мати рятувальний пояс з мотузкою.

У ковпака цистерни повинен перебувати другий робітник, який зобов'язаний тримати зв'язок (за допомогою сигналізації) з робітником, який знаходиться в котлі цистерни.

Контрольні питання до розділу 1

1. Що називають паливом?
2. Які класифікації палив ви знаєте?
3. Назвіть основні властивості палива.
4. Які особливості горіння різних видів палив ви можете назвати?
5. Що називають твердим паливом?
6. Дайте визначення умовному паливу.
7. Які компоненти входять до складу нафти?
8. Які основні види нафтопродуктів, які отримують при переробці нафти?
9. На які основні групи поділяється рідке паливо залежно від призначення?
10. Що входить до складу природного газу?
11. На які види роботи локомотивів встановлюються технічні норми витрат електроенергії і палива?

РОЗДІЛ № 2. МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

1. Основні положення теорії змащування

1.1 Концепція тертя. Види тертя

Тертя виникає у місцях зіткнення поверхонь двох чи кількох тіл незалежно від того, перебувають вони у русі чи спокої. Відповідно до цього розрізняють тертя руху і тертя спокою. Тертя, що виникло на поверхні тіл, називається зовнішнім. Тертя, що виникло всередині тіла під дією зовнішніх сил під час опору руху одного його шару відносно іншого, називається внутрішнім. За сучасними уявленнями виникнення, тертя пояснюється силами молекулярної взаємодії або силами механічного зачеплення нерівностей поверхонь тіл у місцях зіткнення, а також одночасно обома цими причинами. Зовнішнє тертя супроводжується виникненням та виділенням тепла, електризацією тіл, їх руйнуванням та іншими наслідками.

Тертя перешкоджає вільному взаємному переміщенню тіл та утримує їх у стані спокою. Сили тертя розташовуються та виявляють свою дію в поверхнях тертя. Щоб забезпечити більш-менш вільне переміщення дотичних поверхонь, вживають заходів до зниження тертя між ними, і, навпаки, коли потрібно виключити можливість їх взаємного переміщення, прагнуть збільшення сили тертя.

Залежно від характеру переміщення дотичних поверхонь розрізняють тертя ковзання і тертя кочення. У першому випадку тертя виникає при ковзанні, у другому при перекочуванні поверхні одного тіла поверхнею іншого. За рівних умов (навантаження, швидкість) тертя кочення приблизно в 10, а іноді в 100 разів менше тертя ковзання. Тому завжди прагнуть замінити в машинах, де це можливо, тертя ковзання тертям кочення [23, 41, 50].

Розрізняють тертя сухе, граничне і рідинне в залежності від кількості мастила, що знаходиться між поверхнями, що стикаються. Коли шар мастила між поверхнями, що труться, має надзвичайно незначну тріщину, тертя буде граничним.

Рідинне тертя виникає в тому випадку, якщо поверхні, що труться, повністю розділені мастилом. Напівсухе та напіврідинне тертя є проміжним. Перше – між граничним і сухим, друге – між граничним та рідинним.

1.2 Сухе тертя

Нерівності поверхонь, що стикаються, – одна з причин виникнення сухого тертя.

При взаємному переміщенні тіл виступи поверхонь, зачіпаючись один за одним, знімаються та руйнуються, як наведено на рис. 2.1. Поверхні при цьому зношуються та нагріваються.

За відсутності руху виступи однієї поверхні під дією навантаження входять до западини іншої. Чим чистіше оброблені поверхні, тим менше за висотою та глибиною виступи та западини нерівностей і тим менший опір взаємному

переміщенню тіл. Виходячи з цього положення, можна було б очікувати, що тертя зовсім зникне в тому випадку, коли обробка буде ідеальною. Насправді цього не відбувається за наступними причинами. Відомо, що молекули твердого тіла утримуються на певних відстанях силами взаємного тяжіння. Для тих молекул, які розташовані в крайніх шарах поверхні тіла, сили взаємодії поширюються не тільки на сусідні молекули самого тіла, а й на молекули зовнішнього шару іншого тіла.

Внаслідок цього при ідеальній гладкості дотичних поверхонь виникає тертя, обумовлене силами молекулярної взаємодії.

Таким чином, сухе тертя між поверхнями двох тіл буде завжди існувати незалежно від ступеня їх обробки. Тільки в одному випадку тертя пояснюється механічним зчіпленням нерівностей, а в іншому – зчепленням між собою молекул дотичних поверхонь. В обох випадках на подолання сил зачеплення та зчеплення витрачається робота. Сила, яка проводить цю роботу, має напрямок, протилежний напрямку сили тертя. Величина сили тертя дотичних поверхонь оцінюється коефіцієнтом тертя, який дорівнює відношенню сили тертя до навантаження. В даному випадку в розрахунок приймається нормальне навантаження, тобто сила, яка притискає одну поверхню до іншої

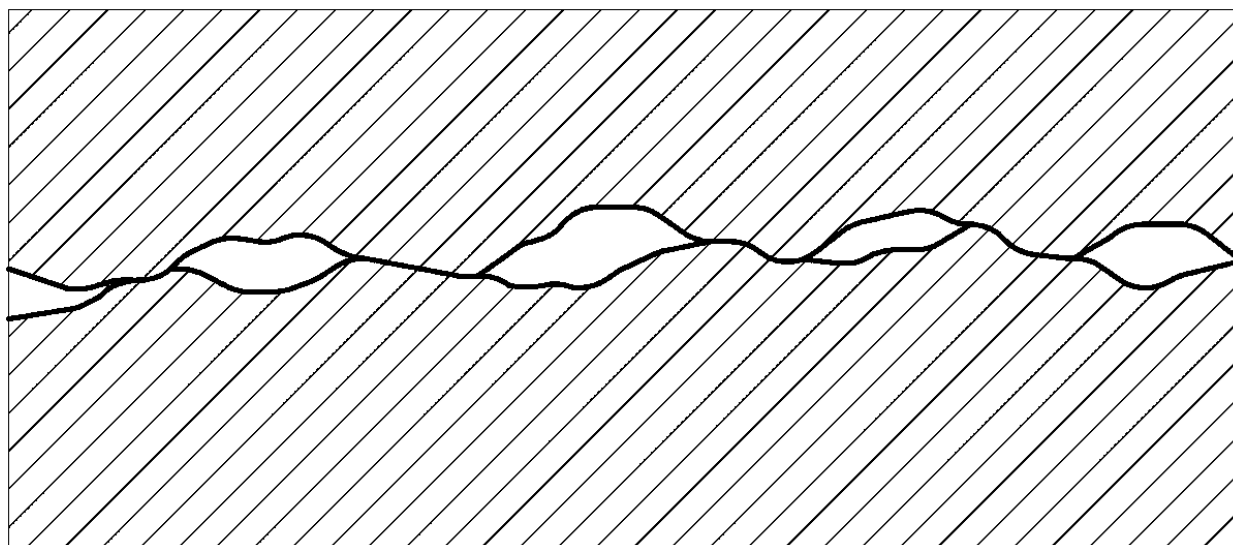


Рисунок 2.1 – Схема дотику поверхонь

Якщо дія навантаження не збігається з нормаллю (перпендикуляром) до напрямку переміщення дотичних поверхонь, то слід враховувати нормальну складову цього навантаження.

$$f = \frac{F}{P}, \quad (2.1)$$

де f – коефіцієнт сухого тертя;

F – сила сухого тертя в кг або н;

P – нормальний тиск на поверхні тертя в кг або н.

З цього співвідношення при відомих f і P можна визначити силу тертя:

$$F = fP, \quad (2.2)$$

Величина коефіцієнта сухого тертя ковзання – безрозмірна і залежить від матеріалу і обробки поверхонь, що труться, розміру поверхонь дотику і від швидкості їх взаємного переміщення.

Для металів коефіцієнт сухого тертя коливається в межах від 0,1 до 0,5 і вище. Коефіцієнт сухого тертя тим менше, чим краще оброблені поверхні, що стикаються. При підвищенні швидкості руху він здебільшого зменшується, при підвищенні питомого тиску – зростає.

При терті кочення коефіцієнт тертя є лінійною величиною (см, мм, м).

1.3 Рідинне тертя

Рідинне тертя виникає в тому випадку, якщо поверхні тіл, що стикаються, розділяє шар мастила товщиною, що перевищує висоту нерівностей поверхонь. У цьому випадку тертя відбувається між шарами мастила, яке їх розділяє. Внаслідок цього значно скорочуються втрати на тертя (на 90% і більше в порівнянні з сухим тертям), зменшується зношування та нагрівання деталей вузлів тертя, підвищується надійність роботи машин.

Вивчення законів рідинного тертя ґрунтується на гідродинамічній теорії мастила. На основі цієї теорії виведена наступна залежність для сили рідинного тертя:

$$F_p = \frac{\eta v Q}{h}, \quad (2.3)$$

де F_p – сила рідинного тертя в н;

η – динамічна в'язкість мастила в н·с/м²;

v – відносна швидкість руху поверхонь, що труться в м/с;

Q – площа поверхні тертя в м²;

h – товщина мастильного шару м.

Рідинне тертя залежить не від матеріалу дотичних поверхонь, а від властивостей мастила, що розділяє ці поверхні.

Процес рідинного тертя легше пізнається з прикладу тертя валу підшипника. Між цими деталями при їх обробці створюється щілинний зазор. За рахунок осідання валу в найбільш навантаженій частині підшипника цей зазор стає менше, ніж у інших його частинах, і за відсутності обертання вал лягає прямо на підшипник.

Олива, введена в щілинний зазор, розділяє поверхні валу і підшипника тонкою оливною плівкою. На початку обертання вал, діючи як насос, створює в найбільш вузькій частині зазору підшипника оливний клин. З підвищенням швидкості обертання валу в найбільш навантажену частину підшипника нагнітається зростаюча кількість оливи, клин стає більшим, тиск у ньому підвищується, вал віджимається. Внаслідок цього зазор між валом і підшипником зростає і

заповнюється суцільно оливою, товщина шару якої виключає можливість взаємного дотику поверхонь, що труться. З цього моменту починає здійснюватися повне рідинне тертя.

При зменшенні швидкості обертання валу або при витоках оливи кількість її стає недостатньою для збереження тиску в оливному клині, вал починає сідати, а рідинне тертя переходить спочатку в напіврідинне, а потім в граничне. Слід мати на увазі, що товщина оливного клину і його несуча здатність тим більша, чим вище швидкість обертання валу, більша в'язкість оливи і менше зазори, через які олива може витікати.

Слід також зазначити, що при граничному терті для підвищення стійкості оливної плівки в оливу додають присадки.

1.4 Коефіцієнт рідинного тертя

За аналогією з сухим тертям, коефіцієнт μ , рідинного тертя визначається за наступним відношенням:

$$\mu = \frac{F_p}{P}, \quad (2.4)$$

де F_p – сила тертя;

P – навантаження на поверхні, що труться.

При підстановці замість F_p її значення отримаємо:

$$\mu = \frac{\eta v Q}{h P_T}, \quad (2.5)$$

а так як Q - це середній питомий тиск P_T , то коефіцієнт рідинного тертя матиме наступний вираз:

$$\mu = \frac{\eta v}{h P_T}, \quad (2.6)$$

Отже, величина коефіцієнта рідинного тертя знаходиться в прямій залежності від в'язкості оливи і відносної швидкості поверхонь, що труться, і в зворотній залежності від товщини шару оливи і середнього питомого тиску.

Коефіцієнт рідинного тертя μ , в однакових умовах, тобто при однаковій швидкості руху поверхонь, що труться, і однаковому русі, в 10...20, а іноді і в 100 разів менше коефіцієнта сухого тертя. Його величина знаходиться в межах 0,001...0,01.

Для досягнення найменшого тертя при заданій швидкості та питомому тиску необхідно знижувати в'язкість оливи і збільшувати товщину оливного шару. Однак при недостатній в'язкості оливи видавлюватиметься із зазору, і тертя з рідинного може перейти в граничне. Це спричинить підвищене зношування та нагрівання деталей.

Таким чином, при проектуванні машин слід приділяти більше уваги правильному вибору оливи, так як її висока в'язкість може призвести до великих втрат на тертя всередині шару оливи, а недостатня в'язкість не створить надійного рідинного тертя [41, 50].

2. Класифікація та методи отримання мастильних матеріалів

2.1 Класифікація мастильних матеріалів

По області застосування оливи об'єднуються у наступні групи, які наведено на рис. 2.2:

- моторні (понад 60 %);
- індустриальні (близько 30 %), які об'єднують у групи: оливи для гідросистем; оливи приладові; оливи для напрямних ковзання;
- трансмісійні оливи - для змащення зубчастих передач на автотранспорті (5 %);
- спеціальні оливи (5 %)., такі як: турбінні; компресорні; електроізоляційні; холодильні.

За джерелом сировини оливи діляться на мінеральні та синтетичні (діефірні, фторовуглецеві, силіконові).

Базові оливи. Нафтові базові оливи, що є основами більшості товарних олив, повинні значною мірою забезпечувати їх необхідні експлуатаційні властивості і, отже, задовольняти низку вимог до якості. Іноді ці вимоги суперечать одна одній, як, наприклад, отримання високого індексу в'язкості та низької температури застигання оливи, що створює проблеми технологічного характеру при виробництві оливи. Складний комплекс вимог, що пред'являється до сучасних олив, сприяє все більш широкому виробництву товарних олив на синтетичній або синтетично-нафтовій основі, оскільки синтетичні оливи мають ряд переваг у порівнянні з нафтовими (хоча мають і ряд недоліків).

Нафтові базові оливи. Вибір базової оливи-основи при виробництві товарної оливи визначається як необхідними функціональними показниками оливи, так і економічними показниками її виробництва та застосування. Нафтові базові оливи є основними, наймасовішими базовими оливами [14, 19, 37, 46].

Необхідне посилення тих чи інших експлуатаційних властивостей базових олив забезпечують композиції присадок, що вводяться до складу олив.

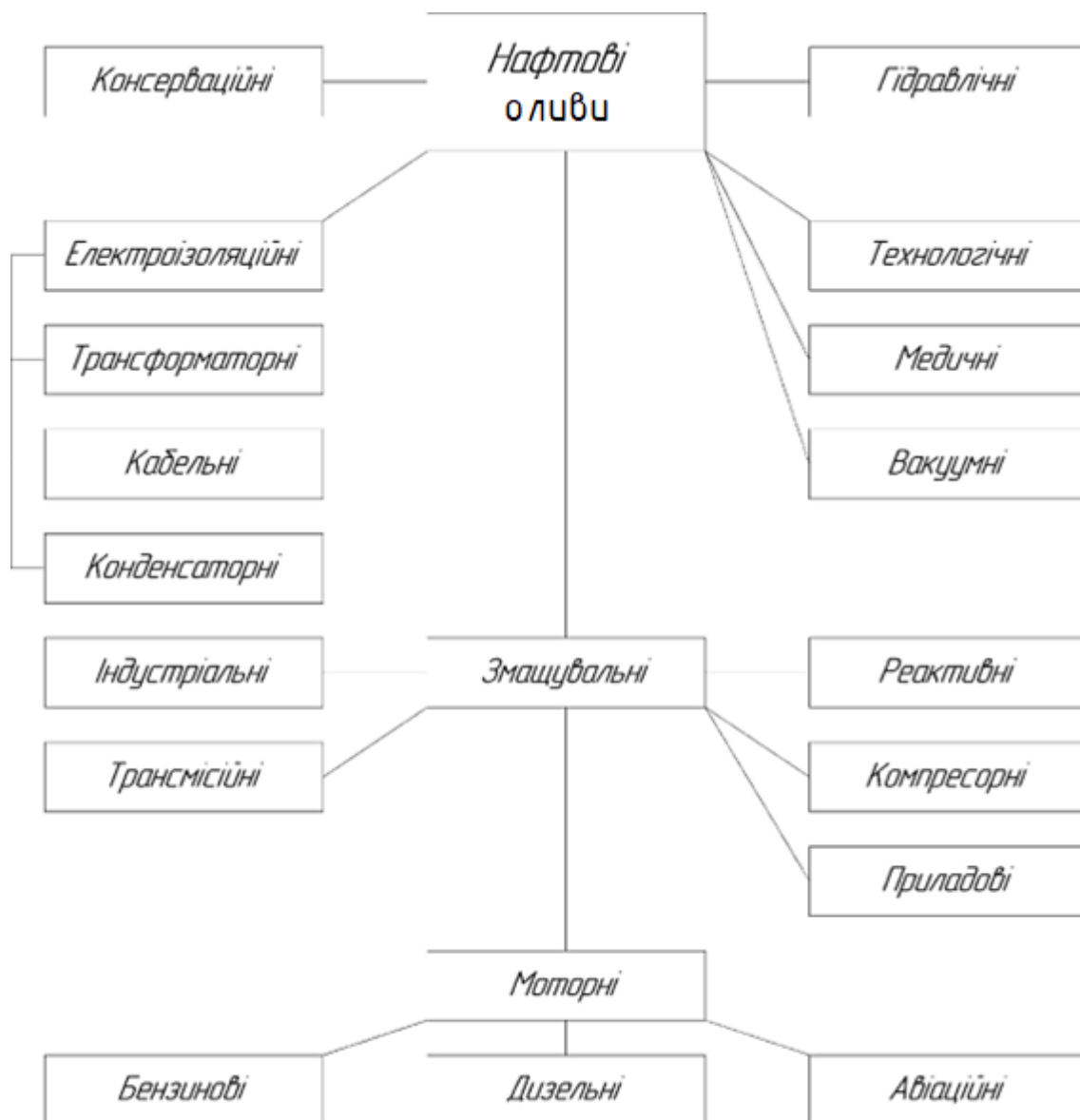


Рисунок 2.2 – Класифікація нафтових олив залежно від сфери застосування

Функції оливи надзвичайно різноманітні, вони залежать від сфери застосування і іноді оливна функція не є не тільки єдиною, але навіть не основною. Наприклад, трансформаторні та кабельні оливи взагалі не виконують змащувальних функцій.

Основні функції, що виконуються великими групами олив:

- забезпечення чистоти та мінімального зносу вузлів змащування виробу в процесі експлуатації;
- забезпечення експлуатації виробу в широкому діапазоні температур;
- запобігання корозії та забруднення поверхонь тертя деталей у процесі експлуатації;
- відведення теплоти від вузлів тертя, видалення із зони тертя продуктів тертя та зношування.

При цьому оливи повинні бути стабільними в процесі експлуатації (мати високу антиокислювальну і, у ряді випадків, механічну стабільність), мати

хорошу сумісність з матеріалами ущільнення (еластомерами), невисоку схильність до піноутворення та низьку гігроскопічність.

Звідси випливає, що єдиних вимог до якості базових олив, придатних для виробництва всього асортименту олив немає.

Базові оливи класифікують:

- за фізико-хімічними властивостями (в'язкість, іноді температура застигання);
- за сировинною природою, що визначає їх хімічну структуру (оливи парафінової та нафтенової основи);
- за способом виробництва - базові оливи ділять на дистилятні (виробляються з вакуумних дистилятів), залишкові (вироблені з гудрону) і компаундовані (суміш дистилятних і залишкових). Розрізняють оливи очищені та неочищені. Оливи очищають сульфатною кислотою, адсорбційною, селективною (екстракція розчинником) та гідрокаталітичним очищенням. Найбільш поширені оливи селективного очищення.

Основою класифікації базових олив у більшості специфікацій є їх в'язкість. У маркуванні базових олив крім рівня в'язкості може вказуватися їхня сировинна природа (парафінові, нафтенові), спосіб виробництва (селективного очищення, гідровані). В'язкість олив у різних країнах визначають у різний спосіб і за різних температур.

Сучасні базові оливи повинні відрізнятися хорошим кольором, високою температурою спалаху, низькою випаровуваністю, високим індексом в'язкості, гарною прийомистістю до присадок, стабільністю при зберіганні [14, 19, 37, 46].

2.2 Методи отримання мастильних матеріалів

Для отримання мінеральних олив використовують мазут (залишковий продукт при переробці нафти).

Мінеральні оливи під поділяються на дистилятні, отримані очищенням відповідних фракцій при перегонці мазуту; залишкові, що виробляються очищенням залишків від перегонки, і змішані - суміш дистилятних і залишкових олив.

Вакуумна перегонна установка для отримання з мазуту олив, принципова схема якої наведена на рис. 2.3, складається з кубу, конденсатору пари (холодильник), приймальної ємності, вакуумної системи (ресивер, зворотний клапан та вакуумний насос).

Крім того, установка має систему теплообмінних та холодильних апаратів та насосне господарство).

В результаті перегонки мазуту виходять напівпродукти для виготовлення веретеної, машинної та циліндрової оливи. Для отримання олив товарних сортів необхідне їх очищення та додаткова обробка. Основна мета очищення - видалення асфальто-смолистих речовин, нафтенових кислот, сірчистих сполук та ін.

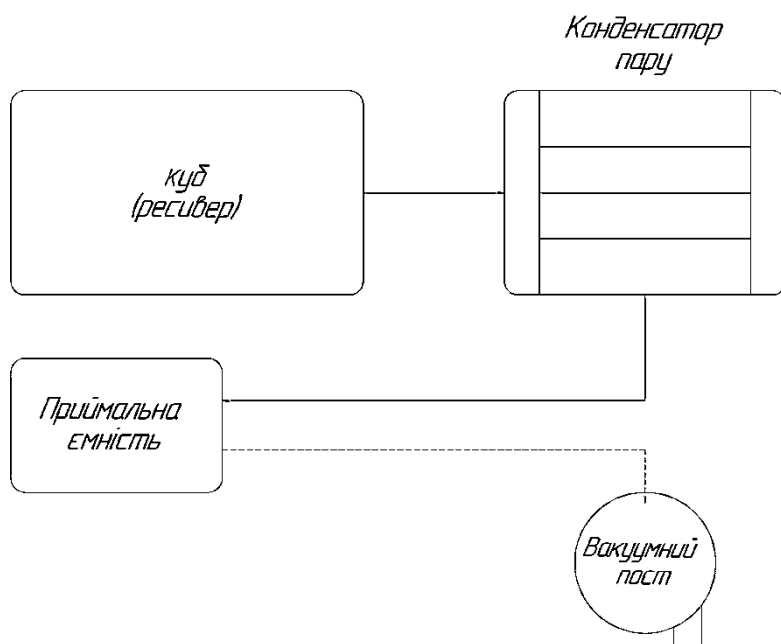


Рисунок 2.3 – Принципова схема вакуумної перегонної установки

Найбільш поширеними є сульфатнокислотний, контактний і селективний способи очищення. Схема очищення оливи від сульфатної кислоти наведено на рис. 2.4.

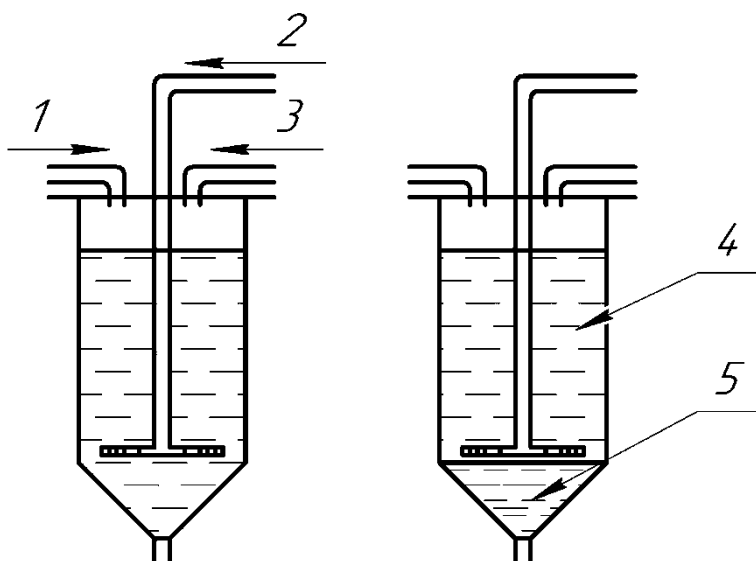


Рисунок 2.4 – Схема очищення оливи сульфатною кислотою
 1 – сульфатна кислота; 2 – повітря для перемішування; 3 – неочищена олива;
 4 – очищена олива; 5 – кислий гудрон

Сутність сульфатнокислотного способу очищення полягає в наступному.

У спеціальному апараті оливний напівпродукт перемішують із міцною сульфатною кислотою. Кислота, взаємодіючи з деякими домішками напівпродукту, утворює кислий гудрон, який видаляють після відстою.

Звільнена від кислого гудрону олива надходить на лужне очищення для нейтралізації залишків сульфатної кислоти і видалення нафтових кислот, що раніше містилися в оливі, або сульфоокислот, що утворилися в процесі

сульфатнокислотного очищення. При цьому луг утворює із кислотами солі, які в головній своїй масі переходять у лужний розчин. Солі, що залишилися, вимивають з оливи водою. Після цього олива для видалення залишків води підсушується.

Оливи, очищені кислотою та лугом, називають оливами сульфатнокислотного очищення. При такому очищенні дистилятів отримують необхідні товарні сорти олив.

У тих випадках, коли оливний дистилят отриманий з мазуту високоякісної нафти і містить мало смол, для видалення нафтових кислот застосовують тільки лужне очищення. Такі оливи називають вилуженими.

Контактний спосіб очищення, або очищення оливи відбілюючими глинами (землями), застосовують, як правило, у комбінації з іншими. Цей спосіб заснований на поглинанні поверхнею частинок відбілюючої глини домішок, що видаляються з оливи, як наведено на рис. 2.5. Кожна частка відбілюючої глини, пронизана великою кількістю дрібних пір, в які при очищенні проникають і затримуються деякі шкідливі домішки оливи, головним чином асфальто-смолисті сполуки, залишки продуктів сульфатнокислотного очищення, нафтові кислоти та ін. Контактний спосіб застосовують найчастіше для остаточного очищення олив після обробки їх сульфатною кислотою. Кислотно-контактним способом очищають як дистилятні оливи, наприклад, автоли, турбінні, трансформаторні, так і залишкові (авіаційні оливи).

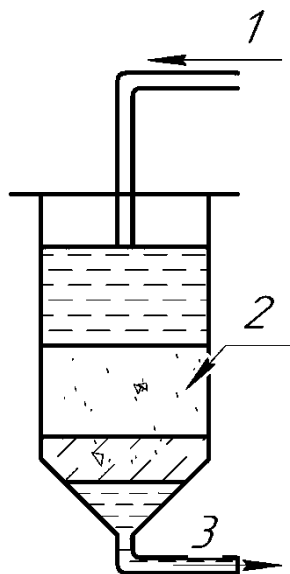


Рисунок 2.5 – Схема очищення оливи відбілюючою глиною
1 – неочищена олива; 2 – відбілююча глина; 3 – очищена олива

Для покращення якості з оливи видаляють парафінові та асфальто-смолисті речовини. Оливи з парафіністої нафти внаслідок великого вмісту твердих вуглеводнів мають високу температуру застигання. Для отримання з цієї нафти оливи з низькою температурою застигання оливу, що очищується, піддають депарафінізації, тобто усувають з неї розчинені парафінові вуглеводні. Процес депарафінізації оливи заснований на охолодженні розчину очищеної оливи в мало в'язкому розчиннику до такої температури, при якій утворюються кристали

твердих вуглеводнів. Їх відокремлюють від оливи фільтруванням або центрифугуванням.

Оливи з високою в'язкістю зазвичай отримують із залишків вакуумної перегонки мазуту (гудронів та напівгудронів). Для вилучення з цих напівпродуктів асфальтосмолистих речовин застосовують деасфальтизацію. Суть процесу деасфальтизації полягає в тому, що при розчиненні очищеного напівпродукту в рідкому пропані асфальтосмолисті речовини коагулюють (згортаються) і осаджуються у вигляді осаду, що легко видаляється.

Основний обсяг олив виробляють із застосуванням екстракційних процесів поділу сировини (дистилятів і гудрону): селективного очищення розчинником (фенолом, фурфуролом, N-метилпіролідом), деасфальтизації гудронів пропаном і сольвентної депарафінізації рафінатів селективної очистки екстракції – екстрактивну кристалізацію). Постійно знижується виробництво олив з використанням процесу сульфатнокислотного очищення, що обумовлено зниженням виходу придатних для цього процесу нафт, утворенням великих кількостей екологічно небезпечних відходів (кислий гудрон), що важко утилізуються, і в більшості випадків недостатньо високою для сучасних вимог якістю одержуваних олив. У відносно невеликих кількостях виробляються оливи з використанням процесів гідрокрекінгу та гідрокаталітичної депарафінізації.

2.3 Основні фізико-хімічні властивості олив

В'язкість – один із основних показників якості оливи. Він визначає надійність гідродинамічного (рідинного) тертя, тобто режиму оливи. За рівнем в'язкості оливи можна умовно розділити на малов'язкі ($3 \dots 4 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100°C), середньов'язкі ($4 \dots 6 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100°C) та в'язкі ($8 \dots 9 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 100°C і вище).

Індекс в'язкості – чим вище індекс в'язкості, тим більш пологою є в'язкісно-температурна крива оливи в області плюсових температур. Індекс в'язкості характеризує якість (глибину) очищення оливи – чим вище індекс в'язкості, тим краще очищена оливи. Цей показник не слід абсолютизувати. Його значення залежить від вуглеводневої природи сировини для оливи. З нафт нафтенової основи виготовляти базові оливи з високими індексом в'язкості дуже важко, що робить ці оливи непридатними для вироблення товарних олив певного асортименту. За індексом в'язкості оливи можна розділити на низькоіндексні (не вище 80), середньоіндексні (80...90) і високоіндексні (90...95 і вище). Як компоненти базових олив сучасного рівня якості використовують базові оливи з надвисоким індексом в'язкості (вище 100), що є продуктами глибокої гідрокаталітичної переробки нафтової сировини. Враховуючи важливість та високу інформативність індексу в'язкості як показника, Американський нафтовий інститут (API) рекомендує класифікувати базові оливи за трьома показниками: індекс в'язкості, частка нафто-парафінових вуглеводнів та вміст сірки.

Температура застигання – показник, що характеризує низькотемпературні властивості оливи, тобто можливість експлуатації при негативних температурах. Більшість базових олив мають температури застигання від 0 до -15°C . Однак є група низькозастигаючих олив з температурою застигання нижче -30°C . В

основному це малов'язкі базові оливи, що є основами трансформаторних, авіаційних, деяких гідравлічних, а також зимових моторних та трансмісійних олив.

Температура спалаху оливи характеризує наявність в оливі легкокиплячих фракцій і пов'язана з таким важливим для виробництва моторних олив показником, як випаровування.

Колір оливи є товарним показником як і індекс в'язкості характеризує глибину і якість його очищення.

Коксування - характеристика залишкових олив (у дистилятних коксування дуже незначне), що досить чітко характеризує якість оливи з точки зору нагаро- і лакоутворення в процесі експлуатації товарної (моторної) оливи на цій основі. Значення коксування залежить від глибини та якості процесів деасфальтизації та селективного очищення при виробництві оливи.

Фізико-хімічні показники, що характеризуючи якість базової оливи, значною мірою є непрямими. В основному якість базової оливи і, зрештою, експлуатаційні показники товарної оливи залежать від хімічного та фракційного складу.

Від вуглеводневого (хімічного) складу базової оливи залежать:

- в'язкість - визначає товщину змащувальної плівки, тобто надійність змащування; текучість і прокачування при низьких температурах; збереження необхідної для надійного змащування в'язкості за високих температур; втрати енергії; знос;
- стабільність до окислення - визначає збереження початкових фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей оливи, включаючи його мінімальну корозійну активність у процесі експлуатації;
- поверхнева активність - визначає спінюваність та емульгуваність оливи; певною мірою впливає на корозійну активність оливи;
- розчинна здатність - визначає здатність базової оливи розчиняти композицію присадок; певною мірою впливає на миючі властивості оливи.

Від фракційного складу базової оливи залежить випаровуваність, що характеризує витрату оливи та ступінь її загущення в процесі експлуатації, що веде до утворення відкладень [50].

2.4 Присадки до олив

Підбір сировини та технологія очищення не може забезпечити вимог, що висуваються експлуатаційним властивостям олив і в них вводять присадки, які не тільки покращують властивості оливи, але й знижують витрату останніх. З тисяч запропонованих складів промислове застосування отримало близько сотні композицій. У найбільших кількостях виробляють сульфонати металів, похідні алкілфенолів, дитіофосфорної кислоти, продукти окислення парафінів та їх солі.

Ефективність застосування присадки залежить від глибини очищення оливи, її природи та складу. Необхідно виявляти побічну негативну дію присадки та усувати її. Перспективно застосовувати композиційні присадки.

За призначенням виділяють наступні групи присадок:

- ті що підвищують стійкість олив до окислення (антиокислювальні або інгібітори окислення);

- підвищують мастильну здатність оливо (антифрикційні);
- протизносні та протизадирні;
- сприяють захисту металів від корозії (інгібітори корозії та протикорозійні);
- що не допускають утворення на деталях двигуна нагарів, лаків та осаду - миючі, або детергентно-диспергуючі;
- що знижують температуру застигання - депресорні;
- ті що підвищують стійкість оливи до впливу грибків та бактерій - інгібітори мікробіологічного ураження, або антисептики;
- ті що запобігають спінювання та емульгуванню оливо - протипінні та деемульгуючі;
- підвищують адгезію та запобігають розтіканню оливи - адгезійні;
- багатofункціональні.

Хімічна класифікація присадок ділить їх за складом активної (полярної) групи та структурою або будовою вуглеводневої (неполярної) групи. За складом активної групи виділяють кисень-, сіро-, фосфор-, азот-, хлор-і боровмісні присадки. Застосовують сполуки з 2-3 активними групами (сіроазотні т.д.). Присадки можуть бути металовмісні (зольні) і ті що не містять (беззольні). Більшість присадок беззольні. Для присадок – поверхнево-активних речовин – найважливіші характеристики це полярність, поляризованість, зумовлені функціональними групами. Для сполук одного класу полярність зменшується зі зростанням вуглеводневої частини молекули і молекулярної маси молекули при однаковому складі та числі функціональних груп.

Класифікація за механізмом дії унаслідок їх ефективності. Дія більшості присадок заснована на поверхневих явищах, що ділить приставки на адсорбційно-активні та адсорбційно-неактивні. Адсорбційно-активні змінюють енергетичний стан на межі фаз «тверде тіло – олива» на поверхні металу або в оливі. Серед них присадки об'ємної дії регулюють взаємодію твердих частинок в обсязі оливи (наприклад, депресорні - твердих частинок вуглеводнів); присадки поверхневої дії регулюють процеси на межі розділу фаз "метал - олива" або поверхневі властивості самого металу, викликаючи адсорбційне зниження його міцності (пластифікація металу). Дія адсорбційно-активних присадок пов'язана з низькою полярністю нафтопродуктів, тому вони дуже чутливі до присутності ПАР і води.

3. Мінеральні оливи (нафтові)

3.1 Осьові оливи

Осьові оливи переважно йдуть на змащування шийок осей колісних пар рухомого складу, з підшипниками ковзання.

Осьові оливи працюють у різних кліматичних зонах при різних температурах навколишнього повітря. Для забезпечення рідинного тертя у умовах вирішальне значення має в'язкість оливи. Осьові оливи виробляють трьох марок: літня Л, зимова З і північна З; їх застосовують відповідно в різні пори року.

Температура застигання оливи повинна бути нижчою за температуру навколишнього середовища, оскільки в іншому випадку олива, що втратила

рухливість, не буде підніматися по волокнах підбивального матеріалу до шийки осі. Температура спалаху осьової оливи повинна бути вищою за температуру, що спостерігається в буксах при нормальній роботі в літній час.

Літня осьова олива складається з 38...40 % солярного дистилляту і 62...60 % мазуту прямої перегонки; зимове - з 70...72 % солярного дистилляту та 30...28 % мазуту прямої перегонки; північне - з 78...80 % трансформаторного дистилляту та 22...20 % мазуту прямої перегонки.

Крім буксових підшипників, осьові оливи застосовуються у багатьох вузлах тертя.

На тепловозах осьові оливи йдуть на змащування буксових, моторно-осьових підшипників ковзання і поверхонь тертя ходових частин.

Подача оливи в букси, обладнані підшипниками ковзання, здійснюється польстерами, валиками або, як виняток, підбивними кінцями. Перед заправкою в букси нову підбивку просочують осьовою оливою протягом 24 год при температурі 60...65° С; підбивальний матеріал, що працював в буксах раніше, просочується протягом 12 год. Після заправки підбивання в буксі заливають оливу до рівня зовнішнього буртика шийки; олива, залита вище зазначеного рівня, марно втрачається.

Оливу в буксі додають при необхідності при технічних і профілактичних оглядах, особливу увагу звертаючи на щільність буксових кришок і пилових шайб. Зміна осьової оливи в моторно-осьових та буксових підшипниках проводиться при великому періодичному та підйомному ремонтах, а також при підготовці тепловозів до переходу з літньої оливи на зимову та навпаки.

У дизель-поїздах з електричною передачею осьовою оливою змащують моторно-осьові підшипники, шарніри ресор і балансірів, ударні пристрої, опори рами кузова, місця з'єднання ланок важільної передачі гальм.

На електровозах осьовою оливою змащують моторно-осьові підшипники ковзання за відсутності індустріальної оливи, п'яти, підп'ятники і додаткові опори кузова і візків, стрижні буферів, буксові підшипники ковзання, антифрикційні диски, буксові напрямні інші поверхні тертя ланок автоматичних гальм. Для змащування буксових підшипників ковзання при температурах зовнішнього повітря нижче мінус 40° С застосовується осьові оливи марки С. Витрата оливи на заповнення одного буксового підшипника становить 6 кг. При технічному огляді додають 50...100 г оливи у кожен буксу.

На моторвагонному електрорухомому складі осьові оливи застосовують для змащування п'ятників і підп'ятників кузова і візків, буксових напрямних, валиків, втулок та інших частин гальмівної передачі. Взимку при температурі нижче -30° С осьовою оливою марки З змащують моторно-осьові підшипники тягових електродвигунів.

На вагонах осьові оливи застосовують у буксових вузлах, обладнаних підшипниками ковзання.

3.2 Індустріальні оливи

Індустріальні оливи – мастильна олива для верстатів та механізмів промислового устаткування. До цього виду оливок відносяться дистильовані мінеральні оливи малої та середньої кінематичної в'язкості, що використовуються як мастильні матеріали, переважно у вузлах тертя верстатного та енергетичного обладнання, а також як основа при створенні гідравлічних рідин, пластичних та технологічних мастил.

Поняття «індустріальної оливи» було введено у відповідних стандартах (ДСТУ, ISO) для відокремлення цієї групи від автомобільних та інших транспортних оливок (моторних, трансмісійних, авіаційних, дизельних, оливок для двотактних мотоциклетних двигунів, оливок для мотоінструменту) та гідравлічних рідин. Застосування оливок в стаціонарних установках, на відміну від транспорту, характеризується помірними тепловими режимами і тисками в парах, що труться, часто - великими заправними обсягами. Частина обладнання має відкриті пари тертя з розрахунком на систематичне ручне або лубрикаційне змащування з відповідно підвищеною витратою оливи. Загалом це створює передумови для використання більш дешевих і простих у виробництві оливок, які не містять синтетичних компонентів та великої кількості присадок. Експлуатація промислового обладнання в приміщеннях з температурними умовами, що щадять, великою мірою знімає проблему «всесезонності» оливи, характерну для транспорту.

Індустріальні оливи з комплексом присадок (антиокислювальні, протизношувальні, антикорозійні та ін.) застосовуються для змащування підшипників, що направляють ковзання, редукторів та наповнення гідравлічних систем промислового обладнання.

На відміну від транспорту, широко застосовуються малов'язкі оливи з мінімумом присадок - для змащування частин вимірювальних приладів, що рухаються, текстильних машин і т. п. або, навпаки, порівняно густі високоадгезійні оливи для відкритих вузлів типу ланцюгових приводів, затискних механізмів верстатів. Для ковзаючих напрямних та гідравліки специфічні «протискачкові» присадки, що запобігають ривкам; це важливо для збільшення точності позиціонування та виключення коливань під час руху тихохідних вузлів.

Дешеві, відпрацьовані або регенеровані індустріальні оливи застосовуються в процесах загартування (для охолодження) та вороніння (як просочування пористої окисної плівки) чорних металів. Обробка абразивними порошками – шліфування, притирання, полірування – також часто проводиться в середовищі оливи, як правило – дешевої мінеральної, тобто індустріальних марок.

Оливи використовуються для консервації та упаковки (промаслений папір) готової продукції металообробки, але в цій галузі активно витісняється спеціальними «липкими» оливами та полімерними плівками.

Емульсії на основі індустріальних оливок, води та емульгаторів застосовуються як змащувально-охолоджуючі рідини при обробці матеріалів різанням, у будівництві для змащування опалубки бетонних конструкцій, для жирування шкір.

3.3 Компресорні оливи

Компресорні оливи використовують переважно для змащування локомотивних компресорів. При роботі компресора олива, стикаючись з нагрітим повітрям, піддається особливо сильній окиснючій дії кисню. У зв'язку з цим вона повинна мати достатню протиокиснювальну стабільність.

Застосування нестабільних олив може викликати відкладення нагару на клапанах, кришках циліндрів, на головках поршнів, у струмках поршнів і на поршневих кільцях, що порушить нормальну роботу компресора. Компресорною оливою змащують також вузли тертя компресорів, які не мають безпосереднього контакту з гарячим повітрям. Ці частини (шатуни, зубчасті колеса тощо) сприймають на себе значне навантаження.

Щоб забезпечити їх нормальну роботу, мастило повинно бути досить в'язким.

Частини компресорів, що труться, змащуються оливою, що подається насосом з картера, і частково за рахунок розбризкування оливи, що зливається з підшипників шатунів. Компресорну оливу заливають у картер до рівня, що вказується, оливомірною рейкою, і під час експлуатації підтримують на цьому рівні додаванням оливи.

Зміну оливи в компресорах тепловозів, що знаходяться в експлуатації, проводять один раз між великими періодичними ремонтами незалежно від бракувальних норм.

У нових компресорах вперше замінюють оливу на першому та другому профілактичних оглядах, а в компресорах, що пройшли великий періодичний підйомний і заводський ремонт, – при першому профілактичному огляді. Відпрацьована олива передається для регенерації. Під час експлуатації локомотивів ведуть спостереження за зміною якості оливи компресора, для чого через 25...30 тис. км пробігу тепловоза чи дизель-поїзда відбирають пробу у кількості 0,3 л для лабораторного аналізу.

Норми невідповідності компресорної оливи наведено в табл. 2.1:

Таблиця 2.1

Норми невідповідності компресорної оливи

Показники невідповідності	Значення
Механічні домішки в % більше	0,08
Температура спалаху у відкритому тиглі в° С не менше	180

Кислотне число в мг КОН на 1 г більше	0,35
В'язкість кінематична при 100° С нижче:	
марка 19 (Т)	15
марка КС-19	15
марка 12 (м)	9,5
Вміст води у % більше	0,008

Якщо лабораторним аналізом встановлено, що хоча б один із наведених показників досяг норми бракування, оливу замінюють свіжою незалежно від тривалості її використання.

Для забезпечення безаварійної роботи компресора необхідно періодично розкривати і оглядати всмоктувальні клапани і видаляти найменші сліди утвореного нагару, а також очищати повітряні фільтри в терміни, передбачені правилами ремонту локомотивів.

При забрудненні фільтрів і несправності всмоктувальних клапанів, а також при заповненні картера компресора вище верхнього рівня, що допускається, по оливомірній рейці відбувається збільшене надходження оливи в камеру стиснення і звідти в головні резервуари автогальм.

Це небажане явище може спричинити основну причину можливих вибухів головних і запасних резервуарів при користуванні відкритим вогнем для підігріву в зимовий час і під час зварювальних робіт.

3.4 Дизельні оливи

На залізничному транспорті дизельні оливи широко застосовуються на тепловозах та дизель-поїздах.

Змащування дизеля. Основними частинами дизеля, що змащуються, є поверхні тертя циліндро-поршневої групи і підшипники колінчастого валу.

Олива, потрапляючи на стінки циліндрів, нагріті до високої температури, стає рідкою і вільно стікає з них. Прогріву оливи сприяє безпосереднє зіткнення його з гарячим від стиснення повітрям. При виборі дизельної оливи потрібно пам'ятати, що можливий не тільки її термічний розпад, але також повне вигорання з поверхні циліндра і утворення нагару.

Крім циліндрів і кілець поршнів, дизельна олива повинна забезпечити змащування шийок колінчастого валу. За наявності високих навантажень на вал якості дизельної оливи пред'являють особливо підвищені вимоги.

Для забезпечення нормальної роботи двигуна дизельні оливи повинні мати певну в'язкість, зберігати змащувальні властивості при високих температурах і

достатню рухливість при низьких температурах, мати високу термічну і протіокислювальну стабільність. Дизельна оливи виробляють декількох сортів. Маркування їх встановлено ДСТУ за наявністю присадок та величиною кінематичної в'язкості. Залежно від типу дизеля застосовують оливи в'язкістю від 12 до 22 сст при 100° С.

На підприємствах залізничного транспорту в двигунах тягового рухомого складу найчастіше застосовують дизельні оливи груп В2 та Г2, а для деяких типів рухомого складу - групи Б2. У табл. 2.2 наведені марки олив, що допускаються до застосування в двигунах тепловозів і дизель-поїздів; застосування олив інших марок та змішування олив різних марок дозволяється лише у виняткових випадках із дозволу Укрзалізниці [14, 19, 37, 46].

Таблиця 2.2

Моторні оливи для двигунів тягового рухомого складу

Марка оливи	Серії тепловозів та дизель-поїздів
М-14В ₂	Типу ТЕ10, ТЕП60, М62, 2М62, Д1, ДР-1, ТГМ4, ТГМ4А, ТГМ6А, ЧМЕ-3, ТЕМ-7, ТЕМ2, ТЕМ2У
М-14Г ₂ ЦС	2ТЕ116, ТЕП70, ТЕМ7, ТГМ6А
М-14Б	ТЕМ2, ТЕМ2У, ЧМЕ-3

Оливи групи В2 вміщують такі композиції присадок, які забезпечують надійне змащення автотракторних дизелів без наддування, а також судових, тепловозних, стаціонарних і транспортних дизелів середнього рівня форсування при роботі на дистилатних дизельних паливах із невеликим вмістом сірки (масова частка до 0,5 %).

Всі оливи групи Г2 вміщують значно більшу кількість ефективніших присадок, ніж моторні оливи групи В2. Оливи групи Г2 застосовуються в автотракторних дизелях без наддування і з наддуванням, а також в судових і тепловозних дизелях з підвищеним рівнем форсування; ці оливи призначені для використання у більш складних жорстких умовах, де необхідні високі експлуатаційні показники і характеристики (термічна стабільність, покращені антиокислювальні, миюче-диспергуючі, нейтралізуючі і протизношувальні властивості), завдяки високому ступеню легування. Високооборотні дизелі, що змащуються моторними оливами групи Г2, експлуатують на дистилатних паливах із вмістом сірки до 0,5 % (масова частка), а середньо- і малооборотні судові дизелі з більшим діаметром циліндра - до 1,5 % (масова частка). Моторні оливи групи Б2 призначені для автотракторних, транспортних, судових, тепловозних і стаціонарних дизелів, які працюють на паливах з невеликим вмістом сірки.

Оливу М-14В₂ отримують із сірчистих нафт змішуванням дистилатного та залишкового компонентів з композицією присадок та використовують для двох- та чотирьохтактних тепловозних та судових дизелів тронкового типу при їх

експлуатації на паливі із вмістом сірки до 0,5 %, а також двигунів кар'єрних автосамоскидів. Олива М-14Г₂ЦС складається із суміші дистилятного і залишкового компонентів, що виробляються із сірчистих нафт та композиції присадок, їй властиві висока вологостійкість та мала імовірність утворення емульсій з водою. Її використовують в тепловозних дизелях типу ЧН26/26, стаціонарних дизель-генераторах з двигунами типу ЧН40/48, дизель-редукторних агрегатах з двигунами типу ЧН40/46. Оливу М-14Б отримують з малосірчистих та сірчистих нафт компаундуванням дистилятного та залишкового компонентів з додаванням присадок. Застосовують на двох- та чотирьохтактних тепловозних двигунах типів 2Д100, Д-50 та подібних ним по рівню форсування двигунах маневрових і промислових тепловозів.

У табл. 2.3 наведені норми ГОСТ 12337-84 для олив типів М-14В₂ та М-14Г₂ЦС, що найчастіше використовуються на залізничних підприємствах у двигунах тягового рухомого складу [14, 19].

Таблиця 2.3

Норми відповідності для олив типів М-14В₂ та М-14Г₂ЦС

Найменування показника	М-14В ₂	М-14Г ₂ ЦС
Густина при 20 °С, кг/м ³ , не більше	910	910
В'язкість кінематична при 100 °С, мм ² /с	14±0,5	13,5...15
Індекс в'язкості, не менше	85	92
Температура спалаху, визначена у відкритому тиглі, °С, не нижче	210	215
Температура застигання, °С, не вище	-12	-10
Масова частка активних елементів, %, не менше:		
кальцію	0,15	0,28
цинку	0,045	0,045
фосфору	0,04	0,04
Колір на колориметрі ЦНТ, одиниць ЦНТ, не більше	4,0	4,0
Масова частка води, %, не більше	сліди	сліди
Масова частка механічних домішок, %, не більше	0,02	0,01
Лужне число, мг КОН/г, не менше	4,8	9,0
Зольність сульфатна, %, не більше	1,2	1,5
Корозійність на пластинках із свинцю, г/м ² , не більше	відсутня	відсутня

Трибологічні характеристики при температурі (20±5) °С:		
Індекс задиру, кгс, не менше	37	34
Критичне навантаження, Н, не менше	784	823
Показник зношування, мм, не більше, при постійному навантаженні 196 Н	0,4	0,4
Стабільність по індукційному періоду осадко утворення (ШО), витримує, год	50	50
Число деемульсації, хв., не більше	-	20

Оливи в тепловозах повинні використовуватися в поєднанні з відповідним дизельним паливом.

Визначення сульфатної зольності проводиться шляхом випарювання навішування досліджуваної присадки в присутності сульфатної кислоти і прожарювання твердого залишку до постійної ваги. Аналізовану пробу перемішують скляною паличкою, підігрівачи до температури 70...80°, потім 5 г навішування (з точністю до 0,01 г) присадки, що випробовується, закладають у тигель.

Тигель повинен бути попередньо підготовлений, для чого його кип'ятять із соляною кислотою протягом декількох хвилин, потім обполіскують дистильованою водою, прожарюють у муфелі при температурі 800° С протягом 10 хв і охолоджують.

У навішування додають сульфатну кислоту (0,5 мл на 1 г присадки) і повільно випарюють навішення до одержання сухого залишку.

Після цього тигель із сухим залишком поміщають у нагрітий до 300° С муфель, де доводять температуру до 800° С прожарюють протягом 1,5...2 години до повного озолення. Охолоджений тигель із золю зважують і визначають зольність присадки X в процентах:

$$X = \frac{a}{b} \cdot 100 \quad (2.7)$$

де a – вага золи в г;

b – вага присадки в г.

Заборонено застосування на тепловозах для змащування дизелів суміші олив, що виробляються з різних нафт, а так само змішування олив, що містять присадки з олівами без присадок.

У дизелях подача мастила до частин, що труться, необхідна не тільки для створення рідинної плівки, що зменшує тертя і знос рухомих деталей, але і для відведення від них тепла, що виникає від тертя. У сучасних дизелях застосовується комбінована система змащування, при якій олива поступає до найбільш навантажених деталей безперервно під тиском. Змащування інших деталей, зокрема і стінок циліндра, проводиться розбризкуванням. Застосування такої системи забезпечує надійне змащування поверхонь, що труться, відведення тепла

від них, також дозволяє безперервно фільтрувати оливу і при необхідності охолоджувати її.

Для збільшення терміну служби оливи і зменшення зносу деталей дизеля в оливній системі тепловозів встановлюють дві групи фільтрів: пластинчасто-щілинні, де проводиться попереднє (грубе) очищення оливи від механічних домішок, і фільтри тонкого очищення, в яких фільтруючим матеріалом служить фільтрувальний папір, або сітчастонабивні фільтри з матеріалом, що фільтрує, – бавовнянопаперовими кінцями.

Фільтри тонкого очищення видаляють з оливи механічні домішки, а також продукти зношування та окислення. Подвійне очищення оливи дає можливість значно зменшити зношування деталей дизеля і збільшити термін служби оливи. Для поліпшення очищення оливи на деяких тепловозах встановлюють відцентрово-реактивні очисники.

У дизелях 2Д100 олива, нагріта до 60...75° С, засмоктується з картера насосом. Близько 15% оливи, що подається насосом, надходить у паперові фільтри тонкого очищення під тиском близько 3 кг/см². Решта оливи надходить у холодильник, по виході з якого проходить пластинчасто-щілинний фільтр і потрапляє в нижній оливний колектор дизеля. З оливного колектора частина оливи направляєється в корінні підшипники нижнього колінчастого валу, далі в шатунні підшипники і на охолодження головок поршнів, а частина оливи - у верхній оливний колектор, з якого надходить до підшипників верхнього колінчастого валу, кулачкових валів паливних насосів.

Крім зазначеної системи, для більш глибокого безперервного очищення олива окремим насосом забирається з картера і нагнітається в центрифугу, звідки після очищення повертається в картер дизеля.

Заправку тепловоза дизельною оливою здійснюють через кран на спускній трубі або через заливальну горловину з сітчастим фільтром.

Дизельну оливу заливають у картер дизеля до верхнього рівня, що вказується оливомірною рейкою, причому в зимовий час (при температурі зовнішнього повітря нижче +5° С) заправку проводять оливою, підігрітою до 60...70° С.

Заливати оливу вище верхньої мітки оливомірної рейки неможна, так як це призводить до його перевитрати і підвищеного утворення нагару. Зниження рівня оливи в картері дизеля нижче від нижньої позначки може викликати падіння тиску в оливній системі. Для підтримки рівня оливи в межах, що вказуються рейкою, свіжу оливу додають при технічних оглядах тепловоза.

У процесі роботи тепловоза з різних причин може відбуватися поступове накопичення води в оливній системі дизеля. Одним із заходів боротьби з накопичення води в оливній системі є обов'язок локомотивних бригад і працівників пунктів технічного огляду перед запуском дизелів після тривалої стоянки спустити відстій з картера через зливну трубу. Не допускається різке і глибоке охолодження дизелів при відстою тепловозів в очікуванні роботи.

Паливо, що потрапило в оливу, знижує температуру його спалаху, зменшує в'язкість і збільшує нагаровідкладення. Причинами попадання палива в картер дизеля є несправності та погана робота паливної апаратури, вимикачів паливних

насосів, тріщини та нещільності в з'єднаннях трубок і форсунок, засмічення зливної трубки та піддону паливного насоса. Однак основною причиною розрідження мастила паливом є тривала робота дизеля без навантаження при малій швидкості обертання колінчастого валу.

Перед запуском дизеля необхідно включити маслопрокачувальний насос. Це пов'язано з тим, що найбільш інтенсивне зношування втулок, поршнів і поршневих кілець відбувається під час пуску дизеля, коли порушується оливна плівка і поршень працює в умовах напівсухого тертя, так як при тривалій стоянці дизеля без роботи олива з поверхонь, що труться (циліндрів і поршнів), стікає вниз у картер [14].

Для забезпечення мінімальної оливої плівки пуск дизеля після тривалої стоянки в депо дозволяється тільки тоді, коли температура дизельної оливи в картері буде не нижче $+20^{\circ}\text{C}$; при нижчій температурі охолола олива має бути замінена підігрітою до $+60\dots 70^{\circ}\text{C}$. Робота дизеля під навантаженням дозволяється при температурі води та оливи не нижче $+40^{\circ}\text{C}$.

У процесі роботи олива поступово забруднюється різноманітними металевими часточками, що потрапляють у неї в результаті стирання металевих поверхонь деталей, мінеральними домішками, які опиняються в оливої системі через повітря та можуть викликати інтенсивне зношування обладнання, розріджується паливом, що значно знижує її температуру спалаху, адгезію та в'язкість. Неповне згоряння палива викликає потрапляння у картер смолисто-сажистих часток, що забруднюють оливу та інтенсифікують лако- і нагароутворення.

Крім того, в оливу із продуктів згоряння палива, навколишнього повітря, нещільності у водяних охолоджуючих приладах може потрапляти вода; присутність її дуже негативно впливає на такі властивості оливи, як корозійна стійкість, стійкість до окиснення. При потрапленні води руйнується оливова плівка в підшипниках колінчастого валу і антифрикційний шар підшипників, посилюється зношення і корозія деталей двигунів, з'являються згустки, які забивають оливопровід та ускладнюють потрапляння оливи до деталей. Також вода утворює стійку емульсію з оливою, що не тільки погіршує якість оливи, а й ускладнює її подальшу регенерацію.

Через взаємодію з нагрітими частинами обладнання олива зазнає термічного розкладення, також вона окислюється під дією кисню повітря. Деякі метали, наприклад, залізо, свинець, цинк та інші, можуть виступати каталізаторами процесу окиснення. Пришвидшувати окиснення може і вода. Окрім процесів розкладання та окиснення паралельно можуть іти вторинні процеси полімеризації та конденсації (рис. 2.6).

Деякі продукти окиснення та ущільнення (асфальтени, карбоїди) нерозчинні в оливі; вони можуть утворювати колоїдні системи та випадати в осад у вигляді шламоподібних продуктів і поступово забруднювати оливопроводи, порушувати циркуляцію оливи, викликати утворення нагару.

Також на оливу діють такі фактори навколишнього середовища, як тиск, електричне поле та природне освітлення.

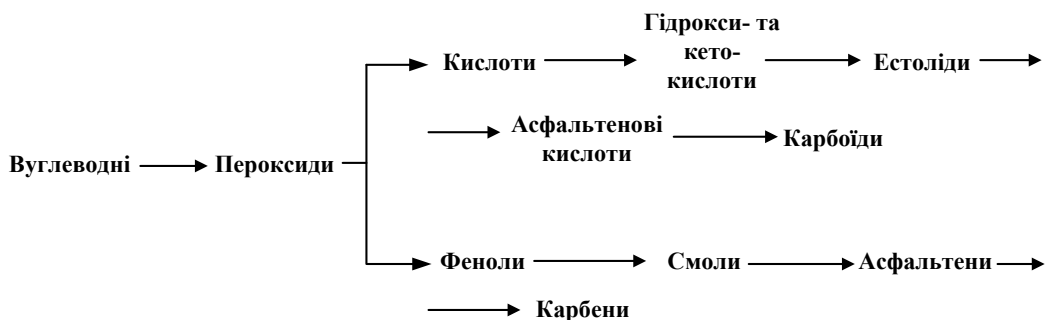


Рисунок 2.6 – Процеси окиснення, що протікають у процесі роботи оливи

Як результат, олива повністю змінює свої характеристики, втрачає основні експлуатаційні властивості і стає дуже густою мулоподібною речовиною чорного або темно-коричневого кольору, густою сумішшю різного роду рідин з добавками твердих речовин - оксидів металів, продуктів зносу.

Показники якості мастильних матеріалів (експлуатаційні норми) – ряд фізико-хімічних параметрів, які характеризують їх експлуатаційні властивості. До основних експлуатаційних характеристик оливи відносять в'язкісно-температурні властивості, стабільність до окиснення, рухливість при низьких температурах. ДСТУ 5094:2008 [14, 24].

На підприємствах залізничного транспорту для тягового рухомого складу існує певний перелік бракувальних норм - числових значень параметрів якості, при досягненні яких мастильні матеріали втрачають функціональні властивості .

Таблиця 2.4

Норми бракування оливи

Фізико-хімічні властивості	Значення параметра	Нормативний документ, за яким визначають
Температура спалаху, яка визначається у відкритому тиглі, °С, нижче	170,00	ДСТУ ГОСТ 4333:2018
В'язкість кінематична при 100 °С, мм ² /с, оливи		
М-14Б, М-14В ₂ , М-14Г ₂ ЦС, більше	16,50	ДСТУ ГОСТ 33-2003
М-14Б, М-14В ₂ , М-14Г ₂ ЦС, менше	11,50	
Забрудненість оливи, см ⁻¹ , Для тепловозів типів ТЕ10, ТЕП60, М62, ЧМЕЗ, дизель-поїздів, більше	1300,00	ГОСТ 24943-81
Те ж для тепловозів 2ТЕ116, ТЕП70, ТЕП75 і ТЕМ7, більше	1500,00	
Те ж для інших серій тепловозів, більше	650,00	
Значення водневого показника		Інструкція рН-метра будь-якої моделі зі скля- ними електродами
Оливи М-14В ₂ , менше	5,50	
Те ж для оливи М-14Б, М-14Г ₂ ЦС, менше	5,00	
Загальне лужне число, мг КОН на 1 г оливи		ДСТУ 5094:2008
М-14Б, при вмісті сірки в паливі до 0,2 %, менше	0,30	
Те ж до 0,35 %, менше	0,45	
Те ж до 0,5 %, менше	0,60	

Подовження таблиці 2.4

Загальне лужне число, мг КОН на 1 г оливи М-14В ₂ , М-14Г ₂ ЦС, при вмісті сірки в паливі до 0,2 %, менше	0,60	ДСТУ 5094:2008
Те ж до 0,35 %, менше	0,90	
Теж до 0,5 %, менше	1,2	
Вміст води якісно При позитивній якісній пробі масова частка води, % більше	наявність	ГОСТ 1547-84
	0,06	ДСТУ ГОСТ 2477:2021
		Інструкція з використання мастильних матеріалів на тяговому рухомому складі залізниць України
Диспергуюча здатність, менше	0,35	

Дані аналізів порівнюють з бракувальними показниками і таким чином оцінюють експлуатаційну придатність оливи. Олива, що не набула бракувальних параметрів може використовуватись у подальшому; до того моменту, доки хоча б один із бракувальних показників не буде перевищений таку оливу вважають експлуатаційною, тобто такою, що в повній мірі забезпечує надійну роботу двигуна.

Якщо параметри бракування не досягнуті, таку оливу можна застосовувати повторно для проведення реостатних випробувань. Також повторно використовують оливу, яка повністю досягла бракувальних норм, але пробіг, що залишився до планової за-міни оливи в магістральних тепловозів і дизель-поїздів не перевищує 10...15 тис. км, а в маневрових і вивізних тепловозів - 30...40 діб.

При досягненні хоча б одним із показників бракувальних значень, проводять ряд передбачених інструкцією операцій, а саме - перевіряють роботу апаратури та обладнання і замінюють оливу. Крім того, проводять і планову заміну моторної оливи в тепловозних дизелях залежно від типу тепловоза (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Типи тепловозів та час перевірки оливи

Типи тепловозів	Час перевірки і можливої заміни оливи
ТЕ10, ТЕП60, М62, 2М62	На поточних ремонтах ПР-2 і ПР-3
2ТЕ116, ТЕП70	Через 100 тис. км пробігу на чергових поточних ремонтах або технічному обслуговуванні
ТЕМ7, ТЕМ1, ТЕМ2, ТЕМ2А, ТЕМ2У, ТЕМ3, ЧМЕ всіх індексів, ТГМ, дизель-поїзди	На поточних ремонтах всіх типів за бракувальними показниками
Гарантійні тепловози і дизель-поїзди	Відповідно до заводських інструкцій

Відбракована і злита з картера при плановій заміні олива підлягає передачі на регенерацію.

Після заміни моторної оливи оливну систему дизеля ретельно продувають повітрям, промивають і протирають картер або оливний бак. Частково замінювати («оновлювати») оливу не дозволяється, тому що процеси старіння ідуть більш інтенсивно, оливу частіше доводиться оновлювати; крім того, знижується ресурс роботи дизеля, який постійно працює на оливі, експлуатаційні показники якої близькі до бракувальних.

Повна заміна дизельної оливи в картерах або оливних баках тепловозів проводиться при виконанні норми пробігу незалежно від якості оливи, при малій періодичності ремонтів на поїздних тепловозах і при великому періодичному ремонті на тепловозах, що використовуються у всіх інших видах роботи, а також нормах бракування оливи незалежно від величини пробігу та характеру роботи.

Тривалість роботи оливи без заміни в різних дизелях тепловозів неоднакова. Повністю замінюють дизельну оливу незалежно від її якості при перебиранні дизелів на великому періодичному та підйомному ремонтах.

Спектральний аналіз дизельної оливи. У тепловозних двигунах під час роботи відбуваються складні процеси взаємодії оливи з деталями, що труться, продуктами згоряння та активними хімічними сполуками. Деталі дизеля зношуються нерівномірно - одні швидко, інші служать більш тривалий час. За станом деталей дизеля встановлено суворий контроль, головним чином на профілактичних оглядах та періодичних ремонтах, що погіршує експлуатаційні показники роботи тепловозів і значно підвищує вартість ремонту. Тому вишуковуються методи оцінки стану деталей двигуна внутрішнього згоряння без його розбирання.

В результаті зносу частин дизеля, що труться, в оливі накопичуються різні домішки (залізо, мідь, свинець, олово), зміна концентрації яких характеризує не тільки загальний знос, а й стан пар, що труться. Чим інтенсивніше відбувається зношування деталей, тим вище концентрація елементів зношування в оливі [14].

Зіставлення результатів технічного огляду дизелів з показниками концентрації продуктів зношування в картерному мастилі дозволяє розділити парк дизелів за градаціями стану на чотири групи, які наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Вміст продуктів зношування за градаціями стану

Елементи	Вміст продуктів зношування в г/т оливи			
	Добрий	Задовільний	Потребує підвищеного контролю	Незадовільне, аварійне, потребує розбирання
Залізо	<50	50-100	100-150	>200
Свинець	<40	40-100	100-150	>200
Мідь	<30	30-60	60-100	>150

Широке впровадження спектрального аналізу картерної оливи в практику відкриває великі перспективи підвищення надійності тепловозних дизелів та ефективності використання тепловозів.

Змащування редукторів. Редуктор вентилятора холодильника змащують дизельною оливою.

Оливу в редуктор заливають до верхньої позначки оливовимірального щупа; цей рівень підтримується періодичними добавками. Повну зміну оливи в картері виконують при великому періодичному ремонті.

Для змащування гідромеханічного редуктора застосовують дизельну оливу. Олива підводиться до гідромуфти редуктора від оливної системи дизеля. Тиск оливи підтримується автоматично за допомогою редукційного клапана, відрегульованого на тиск $0,49 \cdot 10^5$ н/м.

Редуктор приводу двухмашинного агрегату також заповнюють дизельною оливою. Рівень оливи підтримують у межах верхньої та нижньої рисок оливовимірального щупа. Зміну оливи, як і у гідромеханічного редуктора, проводять при великому періодичному ремонті. Мастило зливається з редуктора через пробку, розташовану під отвором для масловимірального щупа [41, 50].

3.5 Турбінні оливи

Гідропередачу заправляють оливою через сітчастий фільтр заливальної горловини, розташований на кришці люка. Заповнюють оливою верхній картер корпусу гідропередачі (об'ємом 235 л). Таким чином, корпус гідропередачі заливають приблизно 290 л робочої рідини.

Після заливки оливи в гідропередачу заповнюють оливні трубопроводи та оливоохолоджувач, пропрацювавши на холостому ході 2...3 хв. Після цього слід дизель заглушити і долити оливу гідропередачу до появи його з контрольної пробки нижнього картера.

Заправка оливою компресора. Олива, що заправляється в картер компресора, має відповідати вимогам ГОСТ 1861-73. Заправляти через отвір для оливовимірального щупа або через горловину сапуна. Рівень оливи в картері компресора контролюють по щупу, розташованому на картері. Рівень мастила повинен перебувати між рисками оливовимірального щупа, який має бути загорнутий. Для зручності заправки оливу підігрівають до температури 40-60° С.

4. Консистентні та пластичні мастила

4.1 Призначення та склад консистентних мастил

Консистентні мастила являють собою суміші мінеральних мастил з речовиною, що їх загущає. За своєю структурою ці мастила є дисперсними системами і складаються з двох або декількох частин, які називаються фазами. Одна з фаз, що включає в себе колоїдні частинки розміром ($10^{-5} - 10^{-6}$), називається дисперсною, а інші складають дисперсійне середовище. Існуючі консистентні мастила в основному двофазні. Дисперсна фаза є загусником, а дисперсійним

середовищем – мінеральна олива. Частинки твердої фази, зчіпляючись між собою, утворюють структурний каркас, у комірках якого утримується рідка фаза – мінеральна олива.

Залежно від кількості та природи загусників, що входять до складу консистентних мастил, останні при звичайній температурі являють собою пластичні, нетекучі, мазеподібні, тверді або напівтверді речовини.

При малих навантаженнях консистентні мастила не розтікаються під дією власної ваги, утримуються на вертикальних площинах, не скидаються інерційними силами і тому забезпечують надійне змащування вузлів тертя, не впливають мимоволі і захищають від корозії метал. Вони майже не збільшують опір руху, особливо у момент пуску.

При використанні консистентних мастил, проте, неможливо здійснити циркуляцію мастила, тому неможливо забезпечити інтенсивне відведення тепла від поверхонь, що труться.

Область застосування консистентних мастил дуже різноманітна. У вузлах тертя деяких механізмів ці мастила повністю витіснили рідкі мастила, в інших вузлах вони застосовуються не з рідкими, а іноді в суміші з останніми.

З мінеральних мастил, що використовуються при виготовленні консистентних мастил, найбільше застосування знайшли індустриальні мастила марок 12, 20, 30, 45 і 50 (ДСТУ 4128:2002). Як загусники цих мастил у більшості випадків застосовують менш поширені тверді вуглеводні (церезин, парафін), і навіть віск, петролатум, каніфоль.

При виборі складових частин консистентних мастил враховують область їх використання. Так, у вузлах тертя з малими навантаженнями і високими швидкостями доцільніше застосовувати консистентне мастило, у складі якого знаходиться малов'язке мінеральне мастило. Навпаки, для вузлів тертя, що несуть велике навантаження і працюють з низькими швидкостями, доцільно вводити до складу консистентного мастила високов'язкі мастила.

Змащувальні властивості консистентних мастил залежать головним чином від мінерального мастила, що входить до їх складу. Відповідно до призначення мастила в нього можуть бути введені в розпорошеному стані графіт, тальк або інші речовини [16, 41, 50].

4.2 Класифікація консистентних мастил

Консистентні мастила класифікують за типом загусників і областями застосування. За типом загусників консистентні мастила поділяються на мильні – загущені милами вищих жирних кислот; вуглеводневі, загущені твердими вуглеводнями (парафіном, церезином); органічні, загущені пігментами (тонкодисперсними пофарбованими порошками, не розчинними у воді), полімерами та іншими речовинами, та неорганічні, загущені силікатами, сульфатами, карбонатами металів та ін.

Найбільш поширеними загусниками є мильні та вуглеводневі.

Залежно від умов використання консистентні мастила поділяють на мастила універсальні, призначені для багатьох видів механізмів, що діють у різних

галузях, і спеціальні, що вживаються для особливих умов роботи, у тому числі для змащування вузлів тертя рухомого складу. Універсальні консистентні мастила за температурою краплепадіння поділяються на три групи: низькоплавкі УН (з температурою краплепадіння до 65°C), середньоплавкі УС (з температурою краплепадіння в межах 65...100°C) і тугоплавкі УТ (з температурою краплепадіння вище 100°C).

Спеціальні консистентні мастила ділять на шість груп, до однієї з яких відносяться залізничні мастила.

4.3 Фізико-хімічні властивості консистентних мастил

Основними властивостями консистентних мастил, за якими можна зробити порівняльну оцінку якості та визначити область можливого їх використання, є ступінь м'якості, температура краплепадіння та стабільність. Крім цих основних властивостей, якість консистентних мастил характеризується також наявністю в них води, золи, механічних домішок, вільних органічних кислот і лугів.

Ступінь м'якості мастила залежить від в'язкості мінерального мастила, кількості і якості загусника, що увійшов до його складу. Ця властивість визначає можливість застосування мастила в тому чи іншому механізмі.

Температура краплепадіння. Відповідно до цього методу температура, при якій відбувається падіння першої краплі мастила, що нагрівається в спеціальному приладі в строго певних умовах, називається температурою краплепадіння.

За температурою краплепадіння приблизно можна будувати висновки про верхню температурну межу застосування мастила. Вважають, що мастила можна застосовувати при температурах на 15...20°C нижче температури краплепадіння.

На температуру краплепадіння найбільше впливає рід загусників. Так, температура краплепадіння вуглеводневих мастил знаходиться в межах 60...80°C, кальцієвих 60...110°C, натрієвих 100...200°C і вище.

Вміст води в консистентних мастилах істотно впливає на їх властивості. У деяких мастилах присутність води не допускається або допускається в невеликій кількості; до таких мастил відносяться вуглеводневі та натрієві. Кальцієві мастила (наприклад, солідол) містять воду, як необхідний складовий елемент. При недостатньому вмісті води кальцієві мастила стають неміцними і руйнуються.

Механічні домішки, присутність яких у будь-яких мастильних матеріалах неприпустима, особливо небезпечні в консистентних мастилах. Як відомо, масляні системи двигунів завжди включають фільтри, що затримують механічні домішки, чого не можна зробити з консистентними мастилами. Консистентні мастила, що містять механічні домішки, викликають посилене зношування змащуваних вузлів тертя і можуть бути причиною несправностей.

Зольністю мастил називається виражений у відсотках залишок від спалювання та прожарювання навішування мастила. Зміст золи в мастилі визначається кількістю неорганічних речовин, що входять до її складу (механічні домішки і неорганічна частина загусника).

Вільні луки та кислоти. Консистентні мастила можуть містити вільні органічні кислоти та вільні луки. Надлишок вільного луку надає корозію на кольорові

метали, а підвищений вміст вільних кислот викликає корозію чорних металів. Тому вміст вільного лугу і органічних кислот у мастилах не допускається, а якщо і допускається, то в невеликій кількості.

4.4 Консистентні мастила, що застосовуються на локомотивах

Мастило універсальне низькоплавке УН (вазелін технічний) призначається для змащування вузлів тертя різних механізмів, що працюють при температурах не вище 40...45° С і невеликих навантаженнях. Ці мастила знаходять застосування на локомотивах для періодичного змащування манжет пневматичних циліндрів, реверсора, кнопкового вимикача, для запобігання від корозії металевих поверхонь, у тому числі перемичок акумуляторних батарей, наконечників кабелів та ін. Приблизний склад мастила УН: мастило циліндричне 11...25%, веретене 2 і 3...15%, парафін - 15%, петролатум - 45%. Мастило УН має гарну водостійкість і колоїдну стабільність.

Мастило універсальне середньоплавке УС (солідол). Солідоли готуються на індустриальних мастилах. У якості загусника застосовується кальцієве мило, що готується на бавовняному мастилі або синтетичних жирах. До складу солідолу входить від 9 до 18% кальцієвого мила, від 1,5 до 8% води та інше – мінеральне мастило. Вода, що входить до складу солідолів, сприяє формуванню мастила. Тому солідоли не можна нагрівати до температури 100° С, оскільки вода випаровується і мастило розпадається. Солідоли водостійкі.

На локомотивах солідоли застосовують у таких вузлах тертя, нагрівання частин яких не перевищує наведених вище допустимих меж температур. Солідолами змащують опорні поверхні підвісок тягових електродвигунів. Змащення закладають у вузли тертя при їх монтажі і додають при технічних та профілактичних оглядах. Мастило повністю змінюють при періодичних ремонтах, пов'язаних з оглядом вузла тертя.

Солідоли в якості заміника основного мастила знаходять застосування влітку для змащування шарнірів рам струмоприймача. Солідолами змащують також бокові ковзуни шкворневих балок, повертаючих пристроїв локомотивів деяких серій, шарнірні підвіски і опорні поверхні центруючих балочок автозчеплень, шарніри жалюзей кузова, підшипники засувних щитів, Телескопічний вал приводу швидкостеміра і багато інших вузлів тертя, умови використання яких допускають застосування солідолів [16, 41, 50].

4.5 Змащування електроапаратури

Різні деталі електроапаратури змащують приладовим мастилом, технічним вазеліном, гальмівним мастилом, прожирувальним складом.

Для змащування частин, що труться електроапаратури допускаються заміники приладового мастила МВП, солідолу УС-2 і технічного вазеліну.

Приладове мастило МВП може бути замінена мастилом-пом'якшувачем для гумової промисловості, солідол УС-2 допускається замінювати солідолом УС-3, а технічний вазелін - жовтим вазеліном [41, 50].

5. Норми витрати мастильних матеріалів для рухомого складу залізниць

З олив, що застосовуються на тепловозах, основним є дизельне. Витрата дизельної оливи прийнято нормувати відповідно до витрати дизельного палива.

Норми витрати дизельної оливи у % від кількості натурального дизельного палива, витраченого на експлуатацію тепловозів, наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Норми витрати дизельного мастила у %

Марка локомотива	Норми витрат	Марка локомотива	Норми витрат
ТЭМ2	1,2	М62, дизель-поїзди	3,6
ТЭ10, ТЭП10, 2ТЭ10Л, 2ТЭ10	1,9	ЧМЭЗ	4,0
ЧМЭ2	2,0	ТГМ1, ТГМЗ, ТГМЗА, автомотриси	5,0

Витрата дизельної оливи на тепловозах залежить від конструкції самого двигуна, його потужності, продуктивності оливних насосів і тиску в системі, робочих і температурних параметрів дизеля, від ступеня зношеності та від умов експлуатації тепловоза, так як характерною особливістю дизельної тепловозної установки є часті зміни навантаження, обумовлені профілем колії, швидкістю руху поїзда, погодою та іншими факторами.

Дизельна олива заливається в картер, забирається звідти насосом, підводиться до місць тертя і після цього повертається назад в картер. У дизелях із примусовою системою змащування під тиском за принципом сухого картера олива в картер не заливається. Для цієї мети на тепловозах встановлений спеціальний бак, з якого олива подається насосами до місць тертя.

У процесі роботи частина оливи вигоряє в циліндрах і втрачається через всілякі нещільності. Кількість оливи в картері або баку поступово зменшується, засмоктувати його насосом стає дедалі важче. Тому необхідно періодично доливати мастило в картер або бак. В результаті утворюється суміш свіжої оливи та оливи, що стікає з місць тертя. Якість суміші, не дивлячись на безперервну роботу фільтрів, після деякого періоду роботи погіршується, і олива стає не придатною для подальшого використання. У зв'язку з цим його зливають із картера чи бака та замінюють свіжим.

Слід зазначити, що витрата оливи зростає в несправному дизелі, і особливо різко при зносі циліндрових втулок і поршневих кілець. Крім зазначених причин, завищення витрати дизельної оливи відбувається в результаті його розрідження, обводнення, спінювання та коагуляції.

Нормування витрати всіх мастильних матеріалів, крім дизельної оливи, проводиться на пробіг, всі види ремонтів і на профілактичні огляди [13, 23].

Контрольні питання до розділу 2

1. Які види тертя ви можете назвати?
2. Як можна класифікувати мастильні матеріали?
3. Назвіть основні фізико-хімічні властивості олів.
4. Які групи присадок для олів ви можете назвати?
5. Які марки дизельних олів застосовують на залізничних підприємствах?
6. Що таке норми бракування олів?
7. Яке призначення у консистентних і пластичних мастил?
8. Які консистентні мастила застосовують у локомотивному господарстві?
9. Чим визначаються норми витрати мастильних матеріалів для рухомого складу залізниць?

РОЗДІЛ № 3 ВОДА

1. Основні властивості води

1.1 Значення води

Вода в енергетичному господарстві залізничного транспорту використовується для охолодження дизелів тепловозів та інших двигунів внутрішнього згоряння, приготування електроліту акумуляторних батарей.

Залежно від призначення якості води пред'являють різні вимоги. Так, наприклад, вода, призначена для охолодження двигунів, не повинна викликати утворення накипу та корозії металу.

Відкладення накипу в теплообмінних апаратах погіршує тепловіддачу.

При живленні охолоджуючих систем дизелів водою з високим вмістом хлоридів (хлористих солей), сульфатів (сірчаноокислих солей), розчинених газів (кисню та вуглекислоти) виникають корозійні пошкодження, які значно збільшують обсяг ремонту.

Таким чином, постачання доброякісної води локомотивів і стаціонарних установок є однією з основних умов правильної їх експлуатації.

1.2 Різновиди природних вод

Води поділяють на атмосферні, що випадають у вигляді дощу або снігу, підземні (грунтові колодязі, артезіанські свердловини) та поверхневі (річки, ставки та озера).

Атмосферні води є найбільш чистими, але і вони містять домішки і забруднення, насичуючись у повітрі киснем O_2 , вуглекислим газом CO_2 , азотом N_2 та іншими речовинами.

Підземні води характеризуються великою або меншою кількістю розчинених солей (залежно від мінерального складу ґрунту) і майже повною відсутністю механічних домішок.

Поверхневі води зазвичай містять менше розчинених солей, ніж підземні, але мають більшу кількість механічних домішок як мінерального, так і органічного походження. Якість цих вод залежно від часу року змінюється.

Якість природних вод визначається домішками, що знаходяться в них. Домішки у воді можуть бути у вигляді механічної суспензії, колоїдного або розчиненому стані [17, 36, 48, 49].

Механічні домішки мають розміри частинок від 0,1 мк та вище. До них відносяться частинки піску, глини та залишки рослинних та тваринних організмів. Наявність у воді великої кількості механічних домішок перешкоджає застоюванню її в необробленому вигляді для охолодження двигунів. Механічні домішки видаляють з води відстоюванням та фільтрацією.

Колоїдні речовини характеризуються розміром частинок від 0,1 до 0,001 мк. У колоїдному стані в природних водах знаходяться сполуки заліза, алюмінію,

кремнію, а також органічні речовини, які є продуктами розпаду організмів. Колоїдні домішки видаляють з води відстоюванням з коагуляцією і фільтруванням.

Розчинені домішки знаходяться у воді у вигляді іонів або молекул. Розміри частинок менше 0,001 мк. До них відносяться гази (кисень O_2 , вуглекислий газ CO_2 , сірководень H_2S), мінеральні солі (хлористі, сірчаноокислі, кремнекислі, двовуглекислі та ін.) та деякі органічні сполуки. Вплив розчинених солей різний: одні, що залишаються при кип'ятінні води в розчиненому стані, викликають корозію металу, інші, що випадають при нагріванні у вигляді твердої фази, утворюють накип.

Таким чином, хімічний склад та фізичний стан домішок визначають ступінь придатності води для технічних та господарсько-побутових цілей [48, 49].

1.3 Фізико-хімічні властивості води

Чиста вода – безбарвна прозора рідина, без запаху і смаку. Вода існує в трьох агрегатних станах – твердому, рідкому та газоподібному. За нормального атмосферного тиску при $0\text{ }^\circ\text{C}$ вона замерзає і перетворюється у лід, а при $100\text{ }^\circ\text{C}$ – кипить, перетворюючись у пару. У газоподібному стані вода існує і за нижчої температури, навіть нижче $0\text{ }^\circ\text{C}$. Тому лід і сніг теж поступово випаровуються.

У рідкому стані вода практично не стискається, при замерзанні розширюється на 1/11 від свого об'єму.

Найбільшу густину вода має при $+4\text{ }^\circ\text{C}$. Масу 1 см^3 чистої води при цій температурі прийняли за одиницю і назвали грамом (сучасне визначення грама засноване на точнішому еталоні). На відміну від інших рідин, вода при охолодженні від $+4$ до $0\text{ }^\circ\text{C}$ розширюється. Тому лід легший від води (на 8 %) і не тоне у ній.

Потрійна точка води, тобто умови, за яких одночасно у рівноважному стані можуть співіснувати вода, лід та пара, реалізується при температурі $0,01\text{ }^\circ\text{C}$ і тиску $611,73\text{ Па}$. Значення $0,01\text{ }^\circ\text{C}$ точне – на ньому засноване визначення одиниці вимірювання температури в Міжнародній системі (SI), кельвіна.

Фізичні властивості води великою мірою зумовлені тим, що її молекули мають значний дипольний момент (1,844 Дебая). Оскільки атоми кисню є більш електронегативними, ніж атоми водню, вони відтягують на себе електронну густину ковалентних зв'язків у молекулах води. Через це на перших (O) виникає частковий негативний заряд ($2\delta^-$), а на других (H) – вдвічі менший за значенням позитивний заряд (δ^+). Внаслідок електростатичного притягування між атомами водню й кисню сусідніх молекул води, між ними формується водневий зв'язок. Завдяки такій взаємодії конденсація води відбувається при порівняно високій температурі. Так, наприклад, набагато важчі молекули кисню і вуглекислого газу при цих температурах конденсованої фази не утворюють.

Вода – це полярний розчинник, у ній добре розчиняються полярні й заряджені сполуки, які ще називають гідрофільними. Речовини, що складаються із неполярних молекул, у воді не розчиняються, їх називають гідрофобними.

Гідрофобними, а отже і погано розчинними, зокрема є такі гази як кисень і вуглекислий газ.

Здатність води ефективно розчиняти полярні й заряджені речовини зумовлена високою діелектричною проникністю, її діелектрична стала при температурі 25° С становить 78,5 (для порівняння діелектрична стала неполярного розчинника бензену при тій же температурі 4,6). Це означає, що вода може ефективно екранувати електростатичні взаємодії між розчиненими іонами.

Молекули води мають слабку здатність до зворотної іонізації шляхом розпаду на протон H^+ і гідроксид-іон OH^- :



У хімічному відношенні вода досить активна. З багатьма речовинами вона вступає в хімічні реакції вже при звичайній температурі. З оксидами лужних і лужноземельних металів вона утворює основи:



Жорсткість води – сукупність властивостей, зумовлених вмістом у воді катіонів кальцію та магнію.

Жорсткість води визначають за кількістю солей кальцію і магнію в ній. Якщо вода містить значні кількості вапнякових солей, то таку воду називають твердою чи цупкою, а коли цих солей зовсім немає або вони містяться в незначних кількостях – м'якою.

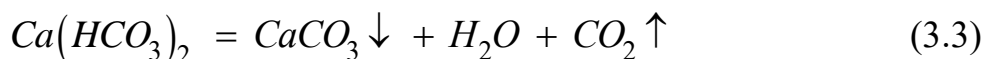
Жорсткість води найчастіше визначають титруванням розчином двонатрієвої солі етилендіамінтетраацетатної кислоти (комплексон III, трилон Б) у лужному середовищі в присутності індикатора хромоген чорний спеціальний або еріохром чорний. Користуючись іншим спеціальним індикатором – мурексидом, визначають кальцієву жорсткість води; магнієву жорсткість води. розраховують за різницею між результатами цих двох визначень. Якщо вміст кальцію та магнію у воді визначено іншими способами, то загальну жорсткість води можна вирахувати за формулою: $T = Ca^{2+} + Mg^{2+}$, де T – загальна жорсткість води, ммоль/дм³; Ca^{2+} та Mg^{2+} – концентрація кальцію та магнію, ммоль/дм³.

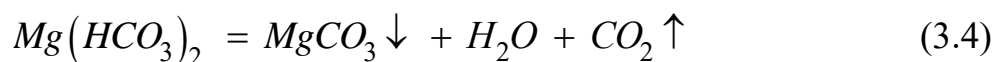
Воду з жорсткістю, меншою від 4 ммоль/дм³, вважають м'якою, від 4 до 8 ммоль/дм³ – середньої твердості, від 8 до 12 ммоль/дм³ – тверда, понад 12 ммоль/дм³ – дуже тверда [35-36].

1.4 Способи усунення твердості води

Для усунення твердості води, тобто її пом'якшення, з води потрібно видалити іони Ca^{2+} і Mg^{2+} у вигляді нерозчинних солей.

Тимчасову жорсткість води усувають кип'ятінням:



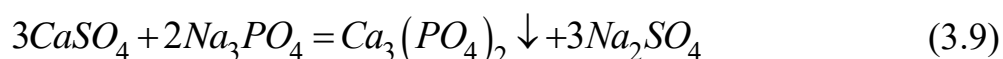
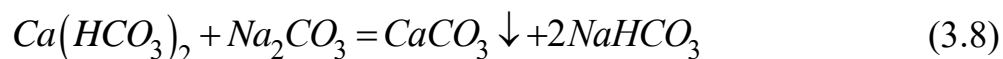
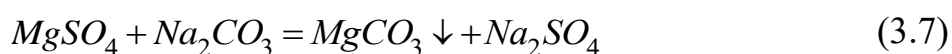


Під час нагрівання іони Ca^{2+} і Mg^{2+} виводяться з розчину у вигляді нерозчинних карбонатів. Саме легкість усунення тимчасової жорсткості води під час нагрівання зумовлює назву – «тимчасова».

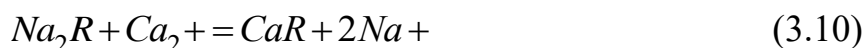
Іншим способом позбутися тимчасової твердості є додавання кальцій гідроксиду (вапняної води). При цьому розчинні гідрогенкарбонати кальцію та магнію випадають в осад у вигляді нерозчинних карбонатів:



Постійну жорсткість води, зумовлену сульфатами та хлоридами кальцію і магнію, неможливо усунути кип'ятінням, оскільки ці солі не розкладаються. Назва «постійна жорсткість» походить саме від того, що її не можна усунути простим нагріванням води. Її позбуваються введенням у воду деяких реагентів – натрій карбонату (кальцинована сода), натрій ортофосфату. Водночас усувається і тимчасова, і постійна твердість води, тобто загальна жорсткість води. Наприклад: Гідроксид кальцію



Сучасний спосіб пом'якшення води ґрунтується на використанні іонообмінних смол – катіонітів. Катіоніти – це тверді речовини, нерозчинні у воді, до складу яких входять рухливі катіони Na^+ у вигляді солей органічних кислот, зафіксованих на поверхні носія. Спрощено їх позначають так: Na_2R . Катіони Na^+ можуть обмінюватися на катіони навколишнього середовища, наприклад Ca^{2+} і Mg^{2+} . Під час пропускання жорсткої води крізь колонку з катіонітом іони Ca^{2+} і Mg^{2+} затримуються в ньому, а катіони Na^+ з катіоніту переходять у воду:



Катіоніт періодично регенерують, промиваючи його концентрованим розчином натрій хлориду.

1.5 Накип та його утворення

Накип – це не розчинні у воді тверді відкладення, що утворюються на поверхні нагріву в процесі роботи котлів, а також при охолодженні поверхонь теплообмінників.

Хімічний склад накипу залежить від властивостей поживної води – від її сольового складу та домішок. Розрізняють такі види накипу.

Карбонатна і акіп, яка складається головним чином з вуглекислих солей кальцію і магнію. Вона зазвичай утворюється у вигляді пухких відкладень, але може виділятися і у вигляді твердого накипу. Карбонатні відкладення найбільш поширені, вони зустрічаються як у парових котлах, так і в різних нагрівачах, а також в системах, що охолоджують.

Гіпсовий (сульфатний) накип містить більше 50% сірчаноокислого кальцію. Це твердий щільний накип, теплопровідність його менша, ніж карбонатної, в 2...3 рази.

Силікатний накип. До цього виду накипу відносяться тверді відкладення, до складу яких входить значна кількість кремнекислих сполук, переважно солей кальцію. Цей накип має вкрай низьку теплопровідність; утворюється вона головним чином теплонапружених поверхнях нагріву котла.

Змішані накипи складаються із суміші вуглекислих, сірчаноокислих і кремнекислих солей кальцію, магнію та сполук заліза. Залежно від складу змішані накипи мають різні властивості. Товщина шару накипу, що відклалася на поверхні нагрівання, залежить від хімічних властивостей живильної води, від дотримання встановленого водного режиму та правильного живлення водою.

Утворення накипу є складним фізико-хімічним процесом. В основі процесу лежить залежність між розчинністю солей, що утворюють накип, зміною температури.

При пароутворенні або випаровуванні вміст солі у воді досягає такої концентрації, коли настає межа розчинності і розчин робиться перенасиченим. Речовини, концентрація яких досягла межі розчинності, випадають у вигляді накипу або шламу.

Солі, що знаходяться у воді, ділять на добре розчинні та погано розчинні. Добре розчинні майже всі хлористі та азотнокислі солі, значна частина сірчаноокислих та інших солей. До, погано розчинних солей відносяться двовуглекислі солі кальцію і магнію, вуглекислий кальцій і магній (карбонат кальцію і магнію), сірчаноокислий кальцій (сульфат кальцію) і т. д [17, 36, 48, 49].

Розчинність деяких солей з підвищенням температури води збільшується, інших зменшується. Перші мають позитивний коефіцієнт, другі – негативний. Речовини з негативним коефіцієнтом розчинності відкладаються у вигляді накипу головним чином на найбільш нагрітих поверхнях котлів, а солі з позитивним коефіцієнтом розчинності – у місцях з менш високою температурою.

Багато речовин, як наприклад, гідрат окису магнію, фосфат магнію, оксиди заліза та органічні речовини, випадають переважно у вигляді шламу.

Шлам – мулоподібний осад, що складається з карбонату кальцію, гідрату окису магнію та фосфату магнію, оксидів заліза та алюмінію, органічних речовин. Відмінність шламових опадів від накипу полягає в їхній рухливості та можливості видалення їх з котла продувками.

Розмір теплопровідності накипу змінюється у межах. В таблиці 3.1 наведені коефіцієнти теплопровідності накипу.

Таблиця 3.1

Коефіцієнти теплопровідності накипу

Види накипу	ккал/м·г·°С	вт/м·град
Усі накипи, що містять оливу	0,1	0,116
Силікатна	0,1-0,2	0,116-0,23
Гіпсова	0,2-2,0	0,23-2,3
Карбонатна	0,2-5,0	0,23-5,8

Накип, що відклався на поверхнях нагрівання або охолодження, знижує теплопередачу, що зумовлює перегрів металу, підвищення температури газів, зниження температури догріву води в теплообмінних апаратах і зниження ефективності охолоджувальних пристроїв, а також викликає перевитрату палива.

1.6 Корозія, ерозія та кавітація металів

Корозією називають руйнування металів або сплавів під впливом хімічної або електрохімічної взаємодії їх із зовнішнім середовищем.

Найголовнішими факторами, що зумовлюють корозію, є: гази (кисень, вуглекислий газ, сірководень); високий вміст солей, головним чином хлоридів та сульфатів; висока концентрація іонів водню; контакт різнорідних металів; спільна дія високоперегрітого пару та продуктів розкладання накипу.

Хімічна корозія характеризується руйнуванням металу внаслідок взаємодії з газами або парою за відсутності електролітів.

Електрохімічна корозія виникає в результаті взаємодії металу з електролітом і супроводжується перебігом електричного струму між різними металами або між окремими ділянками одного і того ж металу. До цього виду корозії відносяться всі корозійні процеси, що відбуваються в водопровідних трубах, баках водоприготувальних установках і т.п. Електрохімічна корозія відбувається тільки в присутності води. Збудниками електрохімічної корозії є розчинені у воді хлористі та сірчаноокислі солі та гази – кисень, вуглекислота, сірководень.

Відповідно до сучасної теорії поверхня кожного металу покрита тонким, не видимим для очей захисним шаром своїх окислів. Корозія металу зазвичай починається в місцях, де порушується цілісність цієї захисної плівки. Практично встановлено, що домішки, що містяться у воді, для заліза в першу чергу хлористі

солі, руйнують захисну плівку і тому сприяють виникненню гальванічних процесів, що протікають між чистим металом і шаром оксидів. Відновлення захисної плівки може відбуватися при додаванні у воду відповідних присадок (тринатрій-фосфат, нітрит натрію, хромпик та ін).

Істотний вплив на швидкість корозії має концентрація іонів водню. Зі збільшенням концентрації, тобто з зменшенням рН приблизно до 4, корозійний процес заліза проходить енергійно; зі збільшенням рН до 9-9,5 захисна плівка на залозі стає більш стійкою, що сприяє уповільненню процесу, а при рН = 9,5-10 корозія фактично припиняється. У той же час для алюмінієвих сплавів підвищення рН до 9-9,5 збільшує корозію.

Присутність у воді розчинених газів O_2 , CO_2 , H_2 (особливо кисню) значно прискорює корозійний процес.

За характером руйнування металу розрізняють корозію рівномірну, або загальну, тобто охоплює всю або більшу частину поверхні металу, і нерівномірну, або місцеву, яка зосереджується на окремих невеликих ділянках поверхні і проявляється у вигляді виразок, плям і точок, що мають різну глибину та площу.

Розрізняють також корозію, що проявляється у вигляді мікротріщин, що йдуть углиб металу. Мікротріщини можуть йти між кристалами металу; тоді корозія називається міжкристалічною. Якщо мікротріщини проходять через кристали, корозія називається внутрішньокристалітною.

Перелічені види корозії показано на рис. 3.1.

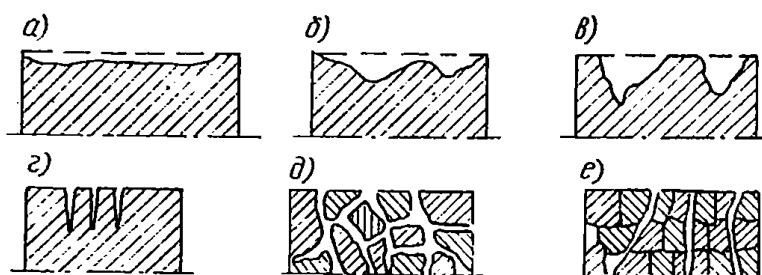


Рисунок 3.1 – Види корозії

а - рівномірна корозія; б - нерівномірна корозія; в - корозія у вигляді виразок; г - корозія у вигляді тріщин; д - міжкристалічна корозія; е - внутрішньокристалічна корозія

Ерозія металу - це послідовне руйнування металевих деталей від ударів водяних струменів об поверхню металу. Середня швидкість розвитку пошкоджень у глибину в деяких випадках досягає 0,5-1 мм на місяць. Ерозія блоків, яка завдає особливо великої шкоди блокам двигуна, значною мірою пов'язана з явищами кавітації.

У потоці рідини в результаті турбулентної течії та зустрічних потоків створюється знижений тиск і утворюються парові бульбашки, які зникають при конденсації пари. Це призводить до удару при заповненні порожнеч рідиною, причому тиск у цьому випадку досягає декількох сотень атмосфер. Процес

повторюється багаторазово і викликає викидання частинок металу з розтріскуванням і подальше руйнування.

Вид руйнувань залежить від інтенсивності кавітації та якості металу. Спільно дія кавітації та корозії прискорює руйнування. Зазвичай осередки руйнування з'являються там, де струмені води протікають з великою швидкістю і змінюють свій напрямок.

1.7 Вимоги до якості води

На залізничному транспорті для теплосилових установок використовується природна вода, хімічно пом'якшена вода та конденсат.

До якості води відповідно до умов її застосування висувають певні вимоги. Так, вода для охолодження двигунів не повинна утворювати в них накип та корозію.

Для охолодження дизелів тепловозів та дизель-поїздів застосовується конденсат, який повинен мати загальну жорсткість не більше 0,2 мг-екв/л, вміст хлор-іонів не більше 10 мг/л з добавкою протикорозійних реагентів.

Вода, що застосовується для охолодження циліндрів двигунів внутрішнього згорання, ртутних випрямлячів, турбін, не повинна містити сірководню, зважених речовин, мати мінімальну карбонатну жорсткість і не містити заліза понад 0,1...0,2 мг/л.

Для приготування електроліту кислотних і лужних акумуляторних батарей застосовується дистильована вода, що містить хлоридів не більше 0,02 мг/л, має жорсткість не більше 0,1 мг-екв/л і окислюваність не більше 1 мл 0,01 водного розчину марганцевокислого калію на 100 мл води. У ній не повинно міститися важких металів, сірководню та ін [17, 36, 48, 49].

1.8 Очистка води

Для отримання води необхідної якості застосовують різні способи обробки, що зводяться до очищення води від механічних домішок і колоїдних речовин, а також до її пом'якшення.

Мутні води, що містять значну кількість зважених частинок (5000...12000 мг/л і вище), піддаються попередньому відстоюванню. Відстоювання проводиться у спеціальних резервуарах – відстійниках вертикального або горизонтального типу.

Після відстоювання вода зазвичай піддається фільтрації. Фільтруванням називається процес звільнення води від зважених речовин пропусканням її через шар фільтруючого матеріалу. Таким матеріалом зазвичай є кварцовий пісок (розмір частинок від 0,6 до 1 мм). Просочуючись через шар, що фільтрує, вода залишає на поверхні і в товщі фільтра зважені речовини і завдяки цьому освітлюється. У разі значного вмісту у воді колоїдних речовин для їх видалення застосовується коагуляція. При коагуляції природна вода очищається від колоїдних та зважених речовин.

Процес коагуляції зводиться до укрупнення колоїдних і дрібно роздроблених частинок у більші і випадання їх в осад. Речовини, що застосовуються для

коагуляції, називаються коагулянтами. Як коагулянти застосовують сіркокислий алюміній, залізний купорос і хлорне залізо. Коагулянт, взаємодіючи зі зваженими і колоїдними речовинами, що знаходяться у воді, утворює пластівці.

У процесі коагуляції пластівці укрупнюються, обтяжуються та осідають на дно відстійника. Таким чином, процес коагуляції має дві стадії. У першій стадії відбувається хімічна взаємодія речовин, що беруть участь у процесі коагуляції, а в другій утворення пластівців.

Для поліпшення коагулювання у воду з недостатньою лужністю (до 1 мг-екв/л і нижче) додають вапно гашене або кальциновану соду.

Розрахункові дозування коагулянтів у середньому складають для сірчано-кислого алюмінію 50...120 г/м³, сірчано-кислого заліза – 25...50 г/м³ та хлорного заліза – 12...25 г/м³. При цьому дозування коагулянтів у зимових умовах приймаються в мінімальних кількостях, а в період паводку в максимальних.

Найбільш повно процес коагуляції протікає при підігріві води до температури 30...40 °С і хорошому перемішуванні розчину коагулянту з водою. Для освітлення води без вапнування найчастіше використовується сірчано-кислий алюміній. При коагуляції води на водопом'якшувальних установках рекомендується використовувати сірчано-кисле або хлористе залізо.

У котельнях залізничних підприємств здійснюється термічний процес деаерації поживної води. Цей спосіб заснований на залежності кількості розчинених у воді газів від температури. При досягненні температури кипіння розчинені у воді гази повністю виділяються.

Атмосферний змішуючий деаератор, який набув найбільшого поширення, являє собою вертикальну металеву циліндричну колонку діаметром 1...2 м і висотою 1,5...2 м, встановлену на горизонтальному циліндричному баку, призначеному для зберігання запасу деаерованої води.

Вода, що підлягає деаерації, подається у верхню частину колонки і стікає вниз, проходячи через систему дірчастих тарілок.

На своєму шляху вода зустрічає висхідний потік пари. У результаті безпосереднього контакту з парою вода нагрівається до температури кипіння, що міститься у воді повітря виділяється і видаляється з деякою кількістю пари, що не конденсується, через штуцер у верхній частині кришки колонки. Деаерована вода стікає у бак.

У деаераторі підтримується тиск 1,2 кг/см².

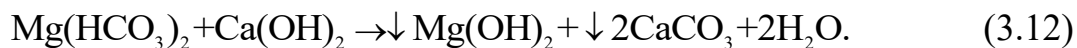
1.9 Пом'якшення води

Залежно від якості природної води та вимог, пред'явлених до якості води, застосовується ряд методів обробки її на водопом'якшувальних установках, а саме: метод осадження (вапняно-содовий), катіоніттовий (знесолювання води) та комбінований (вапняно-катіоніттовий).

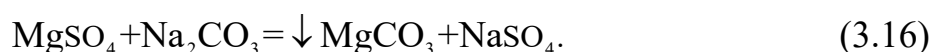
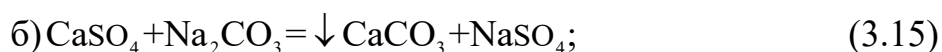
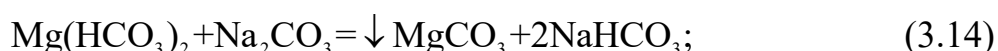
Пом'якшення води методом осадження засноване на перекладі солей кальцію і магнію, що містяться в ній, в малорозчинні сполуки, що виділяються в осад, що досягається при обробці води відповідними хімічними речовинами.

Найбільш поширеним способом осадження є вапняно-содовий. Як хімічні реагенти в ньому застосовується вапно $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і кальцинована сода Na_2CO_3 .

Карбонатну жорсткість можна усунути додаванням гашеного вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



Додаванням соди Na_2CO_3 можна позбутися карбонатної (а) та некарбонатної (б) жорсткості:



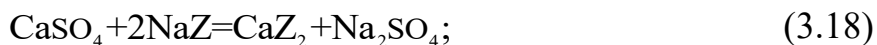
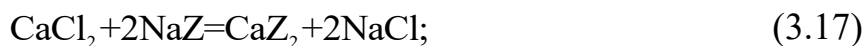
Як видно з цих реакцій, розчинені у воді солі $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 та ін. переводяться в нерозчинні сполуки CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$, що випадають у вигляді осаду.

Залишкова жорсткість води, обробленої за вапняно-содовим методом, залежно від якості і температури, вихідної води, а також від якості роботи водопом'якшувача коливається в межах 1,0...2,0 мг-екв/л і при роботі з підігрівом води (від 40 до 80 °С) в межах 0,3...0,4 мг-екв/л.

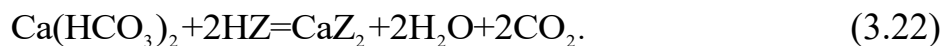
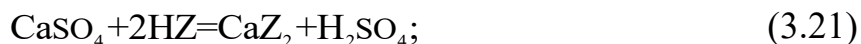
Катіонітовий метод пом'якшення води заснований на реакції іонного обміну.

Катіоніти – це складні речовини: синтетичні іонообмінні смоли та алюмосилікати (наприклад, $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$). Їх склад можна виразити загальною формулою NaZ або HZ , де Na^+ і H^+ дуже рухливі катіони; Z^- - частка катіоніту (наприклад, $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$), що несе негативний заряд. Якщо пропускати жорстку воду через шари катіоніту, то іони натрію та водню обмінюватимуться на іони кальцію і магнію.

Схематично ці процеси можна виразити рівняннями:
при Na - катіонуванні:



при Н - катіонуванні:



Рівняння реакцій із солями магнію пишуться аналогічно.

Таким чином, іони кальцію і магнію тут переходять з розчину в катіоніт, а іони натрію та водню - з катіоніту в розчин; жорсткість води усувається.

Після використання більшої частини іонів натрію і водню катіоніти зазвичай піддаються регенерації.

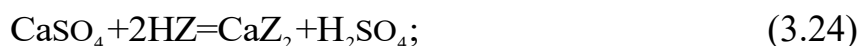
На - катіонітовий фільтр регенерують розчином хлористого натрію, Н - катіонітовий фільтр регенерують розчином соляної кислоти. При цьому відбувається зворотний процес – іони натрію і водню заміщують у катіоніті іони кальцію і магнію, які переходять у розчин. Після цього регенований катіоніт може бути використаний для пом'якшення нових порцій жорсткої води.

Знесолювання води. Метод знесолення води заснований на застосуванні Н - катіонітового та ОН - аніонітового фільтрів.

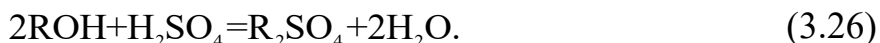
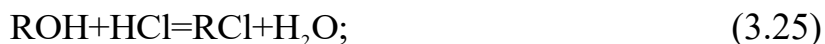
Жорстку воду послідовно пропускають через Н - катіоніт, де вона звільняється від іонів кальцію та магнію, а потім через ОН - аніоніт. При проходженні через ОН - аніонітовий фільтр аніони мінеральних кислот обмінюються на гідроксильний іон (ОН),

Схематично ці процеси можна виразити рівняннями:

при Н - катіонуванні:



при ОН - катіонуванні:



Реакції, що протікають при знесолюванні води, оборотні, що дає можливість відновлювати працездатність фільтрів.

Н - катіонітовий фільтр регенерують розчином соляної кислоти, ОН - аніонітовий фільтр – розчином лугу (NaOH, KOH, N_2CO_3 , NaHCO_3).

Комбіноване пом'якшення води за методом вапнування - На - катіонування - проводиться у дві стадії. У першій стадії під дією вапна з води усувають солі карбонатної жорсткості, частину магnezіальних з'єднань та вільну вуглекислоту. У другій стадії шляхом фільтрації через катіонітовий фільтр вода

звільняється від накипоутворюючих некарбонатних солей кальцію і магнію, що залишилися в ній.

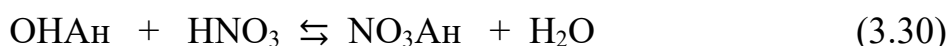
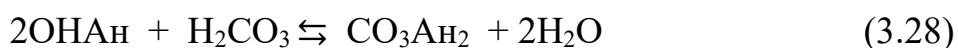
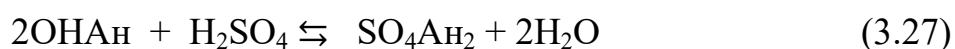
При пом'якшенні води методом катіонного обміну в залежності від пред'явлених вимог до якості поживної води та прийнятої схеми можна отримати мінімальну залишкову жорсткість у пом'якшеній воді 0,05 мг-екв/л і бажану лужність.

1.10 Сутність хімічного знесолення води

Сутність хімічного знесолення полягає у видаленні в результаті іонного обміну всіх катіонів та аніонів сполук, що містяться в ній. Спочатку воду пропускають через Н-катіонітовий фільтр, на якому всі катіони, що знаходяться у воді (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+}) обмінюються на катіон водню, а потім через аніонітний фільтр, де всі аніони, що містяться у воді (Cl^- , SO_4^{2-}) у вигляді кислот обмінюються на обмінний аніон - гідроксид (OH^-).

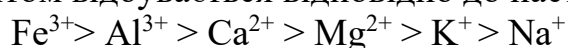
У процесі водень-катіонування вода пом'якшується – катіони жорсткості Ca^{2+} та Mg^{2+} обмінюються на водень; бікарбонатний іон, що утворює карбонатну жорсткість, руйнується з утворенням вуглекислоти, натрій у свою чергу обмінюється на водень, при цьому утворюються еквівалентні кількості мінеральних кислот.

У процесі OH^- аніонування аніони, розчинені у воді обмінюються на гідроксильну групу OH^- . В результаті протікають наступні реакції:

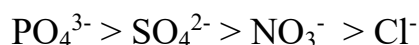


На аніонітних фільтрах (відрегенованих лугом) аніони слабких кислот, що утворилися після водень-катіонування, затримуються аніонітом і в результаті виходить знесолена вода.

При використанні катіонітів для видалення з води різних катіонів, розчинених у ній солей слід мати на увазі, що здатність до поглинання різних катіонів сильнокислотним катіонітом відбувається відповідно до наступного ряду:



Здатність до поглинання різними аніонітами знаходиться в наступній залежності:



При знесолюванні мінералізованої води відбувається виснаження обмінної ємності іонітів, наслідком чого є «проскок» іонів жорсткості та збільшення вмісту хлоридів у очищеній воді.

Після виснаження катіоніту проводять його регенерацію розчином кислоти. Як промивний агент нами обраний розчин сульфатної кислоти, виходячи

із завдання зниження швидкості корозії.

1.11 Основні робочі процеси іонообмінної установки

Перед придбанням іонообмінних смол у постачальників необхідно взяти пробу смоли у кількості 0,5 кг та виконати аналіз її якості сорбенту. Після придбання смоли, необхідно катіоніт та аніоніт у встановлених кількостях замочити у вільних ємностях сирою водою на добу. Після набухання смоли переносять у фільтри разом із водою і доливають фільтр водою. Потім постійно стежать, щоб смола завжди була покрита шаром води. Після цього приступають до проведення послідовно операцій, наведених нижче.

Експлуатація іонообмінних фільтрів є наступними операціями (рис. 3.2):

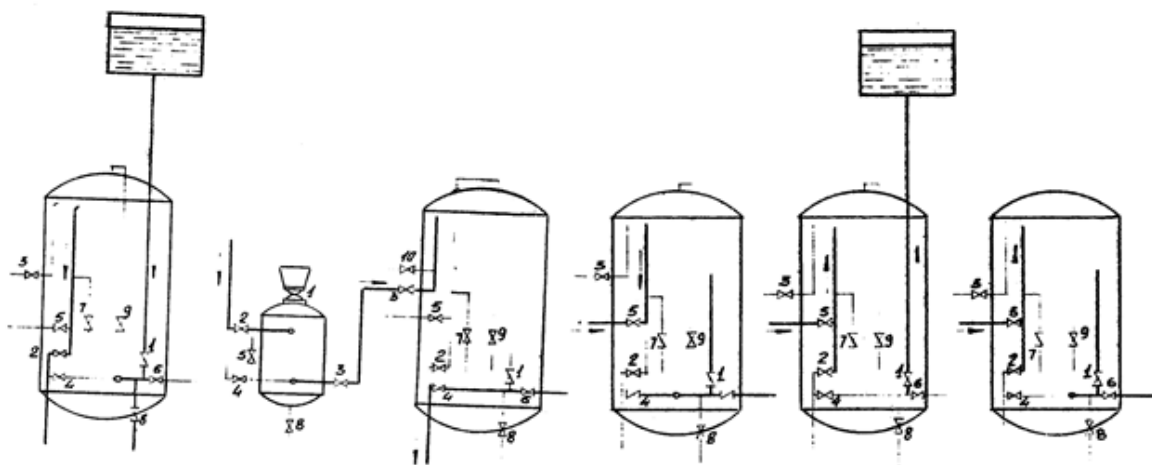


Рисунок 3.2 - Схеми руху води та розчинів солі

а) розпушування; б) регенерація; в) відмивання у дренажну систему; г) відмивання у бак; д) пом'якшення

1. розпушення: Призначення цієї операції усунути ущільнення маси катіоніту, що злежалася, з тим, щоб забезпечити більш вільний доступ регенераційного розчину до зерен іоніту; при цьому також відбувається видалення з фільтра дрібних частинок, що знаходилися в шарі катіоніту, як вносяться сирою водою і соляним розчином, так і утворюються внаслідок поступового зносу катіоніту в процесі експлуатації фільтра. Розпушування катіоніту проводиться відмивною водою від попередньої регенерації, вода подається вниз фільтра самопливом з бака для розпушування катіонітових фільтрів, або за допомогою насосів.;

2. регенерація: починається після розпушування; регенерацію фільтрів проводять заздалегідь заготовленим розчином для катіоніту 1...2 % розчином сульфатної кислоти, для аніоніту 5 % розчином гідроксиду натрію;

3. відмивання у дренажну систему і бак: проводять після закінчення регенерації, тобто після припинення подачі розчину у фільтри;

4. знесолювання: процес є послідовним пропуском сирої води через катіонітовий, а потім аніонітовий фільтр; вимкнення установки проводиться при досягненні жорсткості 0,2 мгЕ/л у катіонованій воді та вмістом хлоридів більше 10 мг/л в аніонованій воді. Під час роботи фільтрів (знесолювання) здійснюються

відбір проб води для експрес-аналізу.

1.12 Домішки у воді, що впливають на роботу іонообмінних смол

Однією із складнощів, що зустрічаються при практичній реалізації іонітового знесолення води, є наявність у ній додаткових домішок органічного характеру, що впливають на роботу іонообмінних смол.

Одними з найпоширеніших корозійно-агресивних сполук є потенційно кислі органічні речовини (ПКОР), які поєднують сукупність низькомолекулярних речовин кислого характеру, що утворюються в результаті термолізу та окислення з природних або синтетичних органічних сполук при високій температурі та тиску. Джерелом утворення ПКОР є головним чином розчинені у воді природні гумусові сполуки.

Найчастіше промислові підприємства скидають стічні води, які містять органічні речовини, зокрема неіоногенні поверхнево-активні речовини (НПАР). Ці речовини надходячи на водопідготовчі установки також часто впливають на роботу іонообмінних смол.

Однією з домішок, що все частіше зустрічається в поверхневих вододжерелах, є нафтопродукти, що потрапляють у ці джерела в результаті проток, транспортних аварій, скидання неочищених вод тощо. А також підприємств, пов'язаних із видобуванням та переробкою нафти. Механізм впливу нафтопродуктів може бути пов'язаний з чисто механічним блокуванням поверхні зерен іонітів або обумовлений перебігом процесів сорбції молекул вуглеводнів і навіть частковим впровадженням їх у структуру вуглеводневого скелета полімеру сітчастого.

1.13 Вибір оптимальної технології іонообмінного очищення

Аналіз літературних джерел однозначно свідчить про складність завдання вибору оптимальної технології іонування, необхідності врахування великої кількості факторів, основними з яких є параметри роботи обладнання (температура, тиск), склад вихідної води, продуктивність установки, наявність іонітних фільтрів тієї чи іншої конструкції, доступність іонітів тієї або іншої марки, умови утилізації залишкових розсолів, наявність матеріалів, стійких до дії розчинів HCl.

Тому спочатку вибір технологій іонування, здатних вирішити завдання забезпечення безнакипної роботи того чи іншого обладнання, повинен проводитися на основі технологічного критерію, яким є ступінь очищення води. За наявності кількох технологій, що задовольняють цьому критерію, подальший відбір слід проводити за екологічними та техніко-економічними критеріями.

Коефіцієнт екологічності технології (відношення кількості іонів, що скидаються, до кількості солей, що надходять з вихідною водою) повинен бути близький до одиниці. Подальше вирішення завдання зводиться до розрахунку питомих наведених витрат для кожної з альтернативних технологій і вибору технології мінімуму витрат, а також до пошуку оптимальних умов організації процесу, так званого глобального мінімуму (відбір типорозміру фільтра та числа

працюючих фільтрів).

При вирішенні цього завдання доводиться враховувати, що промисловою випускаються іонітні фільтри стандартних типорозмірів (по діаметру 1; 1,5; 2; 2,6; 3; і 3,4 м). Тому оптимізацію технологічної схеми пропонується заснувати на принципі підбору типорозміру фільтра та числа працюючих фільтрів. Для установок середньої та великої продуктивності як одиничний елемент пом'якшення доцільно використовувати блок, що складається з двох послідовно включених фільтрів.

Відповідно до зазначеного принципу, пошук оптимальних умов може бути здійснений за наступною схемою.

1. Приймаються до встановлення фільтри з різними діаметрами та для кожного значення числа працюючих блоків ($1 \leq \eta_{рб} \leq 10$); із співвідношення

$$\eta_{рб} \cdot t_{рег} = \eta_{ргб} \cdot T \quad (3.31)$$

визначається відповідне значення числа блоків, що регенеруються - $\eta_{ргб}$ при цьому тривалість регенерації $t_{рег}$. Може бути прийнята рівною 2,5...3, а міжрегенераційний період T розрахований за формулою

$$T = \frac{24}{N - t_{рег}}, \quad (3.32)$$

де N – число регенерацій блоку на добу, $1 \leq N \leq 3$

2. Визначається кількість встановлених блоків:

$$\eta_{уб} = \eta_{рб} + \eta_{ргб} + 1, \quad (3.33)$$

3. З урахуванням вартості кожного фільтра та обсягу завантажувального матеріалу (іоніту) визначається залежність капітальних витрат від числа встановлених блоків та типорозміру фільтрів:

$$Зк = f(\eta_{уб}, D), \quad (3.34)$$

4. До кожного значення чисел $\eta_{рб}$ та N розраховується відповідне значення швидкості фільтрування:

$$v = \frac{\eta_{рб} \cdot h \cdot E_p \cdot N}{(C_{вих} - C_{зал}) \cdot 24}, \quad (3.35)$$

де h – висота завантаження, для одного фільтра приймається стандартною 2,5 або 3,3 м для блоку подвоюється;

$C_{вих}$, $C_{зал}$ – відповідно вихідна і залишкова концентрація іонів, що уловлюються;

E_p – робоча обмінна ємність іоніту: розраховується на підставі раніше розроблених моделей в залежності від іонного складу вихідної води та швидкості фільтрування води. Оскільки E_p залежить від v , то розрахунок v ведеться шляхом послідовного наближення.

5. Встановлюється залежність експлуатаційної складової витрат за іонування від η_{p6} та $D-Ze=\varphi(\eta_{p6}, D)$.

6. До кожного значення η_{p6} та відповідного значення v розраховується продуктивність установки:

$$Q = 0.785 \cdot \eta_{p6} \cdot v \cdot D_2, \quad (3.36)$$

За отриманими даними підбирається таке поєднання $\eta_{p6} - D$, що забезпечує задану продуктивність установки іонування за умови $Zk+Ze \rightarrow xv$.

Подана методика носить універсальний характер з погляду можливості застосування її у будь-якій із зазначених вище технологій іонування. Разом з тим, стосовно технології повного пом'якшення Na - катіонуванням, яке, як правило, ґрунтується на ступінчасто-протиточних схемах іонування та передбачає використання сульфовугілля на другому ступені очищення, зазначений порядок оптимізації може бути віднесений лише до перших ступенів, на частку яких припадає основна частина витрат. Наступний етап оптимізації у разі зводиться до вибору оптимального співвідношення обсягів завантажень іонітів по ступеням.

Під оптимальним має розумітися таке співвідношення обсягів завантажень, у якому максимально використовуються робочі обмінні ємності іонітів обох щабля.

Приклади устаткування для іонообмінного очищення води наведені нижче.



Рисунок 3.3 – Іонообмінні фільтри Ecosoft [5]



Рисунок 3.4 – Керована водоочисна установка Induss IV Компанії EUROWATER [6]

1.14 Охолоджувальна вода для двигунів тепловозів

Вода, як відомо, має значну питому теплоємність і тому дуже добре відводить тепло. У тепловозних дизелях застосовується замкнена система водяного охолодження, тому витрата води на тепловозах незначна. Тільки деяка кількість її втрачається внаслідок випаровування та витоків.

Наявність у воді шкідливих домішок є однією з причин корозійних ушкоджень відкладень накипу на блоках і циліндрових втулках двигунів, зашламлення трубопроводів і секцій холодильників. Належна якість води для системи охолодження дизеля підвищує економічність роботи тепловозів, подовжує термін служби деталей і скорочує обсяг їх ремонту [13].

Вода, що охолоджує двигуни, повинна мати незначну кількість солей, бути вільною від завислих речовин, утримувати необхідну кількість протикорозійних присадок і, крім цього, задовольняти наступним технічним вимогам, які наведено в таблицях 3.2-3.3.

Таблиця 3.2

Технічні вимоги до якості охолоджувальної води

Показники якості води	Двигуни	
	З чавунними та сталевими блоками	З алюмінієвими блоками
Жорсткість загальна в мг-екв/л не більше	0,2	0,2

Вміст хлоріону в мг/л не більше	30	30
Лужність по фенолфталеїну рН мг-екв/л	1,5-2,5	-
	10,8-11,2	7-8
Вміст фосфорного ангідриду P_2O_5 мг/л	15-25	15-25
Вміст азотистокислого натрію $NaNO_2$ мг/л	2500-3000	-
Вміст хромового (CrO_3) ангідриду в мг/л	-	800-1000

Таблиця 3.3

Вимоги до охолоджувальної рідини для локомотивів

Показники	Вода з використанням фосфату натрію				Вода з використанням фосфату натрію, силікату натрію
	Нітриту натрію			Каустичної соди, хромпіка	
	Каустичної соди	Каустичної соди, хромпіка	Хромпіка		
Жорсткість загальна, мгЕ/л, не більше	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Вміст хлор-іону, мг/л, не більше	30	50	30	50	30
Лужність по фенолфталеїну, мгЕ/л, не більше	0,3	-	-	-	1-3
Водневий показник рН	7...9	8...8,5	6,5...7,5	7...8	8...9

Контрольні питання до розділу 3

1. Назвіть різновиди природних вод.
2. Назвіть основні фізико-хімічні властивості води.
3. Які вимоги висуваються до якості води, яка використовується на залізничному транспорті?
4. Які методи водопідготовки ви можете назвати?
5. Назвіть технічні вимоги до якості охолоджувальної води.
6. Назвіть показники якості води для охолодження двигунів тепловозів.

РОЗДІЛ № 4 ПІСОК

1. Основні вимоги до піску

Для підвищення зчеплення коліс з рейками при рушанні з місця або руху по підйому (особливо коли замаслені або вологі рейки) під колеса локомотива подається пісок. Досвід експлуатації локомотивів показує, що зазвичай першими починають боксувати напрямні колісні пари – перша та четверта по ходу тепловоза. Тому подача піску здійснюється у всіх тепловозів лише під ці колісні пари. При цьому дуже важливо для економії піску направляти його в місце контакту коліс з рейками. Причому іноді досить подавати пісок лише під першу колісну пару.

Пісочні системи в принципі для всіх тепловозів однакові. Вони включають пісочні бункери (зазвичай чотири на одну секцію тепловоза) місткістю близько 200 кг кожен, розподільники повітря, форсунки, пісочниці, електропневматичні клапани і трубопроводи з гумовими рукавами і наконечниками (таблиця 4.1).

Вмикання та вимикання пісочниць здійснюється ножною педаллю, розташованою під пультом машиніста. Для подачі піску тільки під першу колісну пару на пульті є спеціальна кнопка. При вимиканні пісочниць електропневматичний клапан випускає повітря з камери над поршнем розподільника повітря і його пружина закриває клапанний пристрій, припиняючи подачу повітря до форсунок.

Труби, що підводять пісок до коліс третьої та четвертої осей, обладнані трьома додатковими повітряними трубопроводами для підведення повітря, щоб полегшити проштовхування піску довгими горизонтальними ділянками цих труб. Пісочні труби під час переходу від кузова до візків мають гнучкі гумові вставки. Наконечники пісочних труб гумові та можуть регулюватися по висоті.

Регулювання подачі піску здійснюється гвинтом. Для зменшення кількості піску, що подається форсункою, гвинт необхідно загорнути, а для збільшення - відвернути. Для орієнтування, наскільки гвинт повернути щодо закритого положення, на головці гвинта та корпусі форсунки поставлені керни. Необхідна подача піску під першу та шосту колісні пари 1,6...2,0 кг/хв, а під третю та четверту - 0,8...1,2 кг/хв. (таблиця 4.2). Заправку бункерів необхідно проводити чистим, сухим піском, обов'язково через сітки, щоб уникнути попадання грудок та іншого сміття. Заправні горловини повинні мати герметичні кришки та козирки, щоб у пісок не потрапила волога.

Кварцевий пісок використовується для збільшення коефіцієнта зчеплення рухомих коліс з рельсами з метою реалізації найбільшої стійкої сили тяги на внутрішньозаводських і кар'єрних шляхах, нерідко вологих від дощу і роси, запиленних і замаслених.

Мінералогічний і хімічний склад, розміри зерен визначають якість піску. Однородний пісок з розмірами частинок 0,5...0,2 мм, з найбільшим вмістом кварца і найменшим вмістом шкідливих, особливо глинистих, домішок дозволяє отримати максимальний ефект по зчепленню. Нормальна якість піску містить кварца не менше 75%, глини не більше 3% та інших мінералів і горних порід не

більше 27%; підвищеної якості - кварца не менше 90%, глини не більше 1% та інших мінералів і горних порід не більше 9%. В районах з частим утворенням інію та високою вологістю застосовується пісок підвищеної якості.

У пісочниці локомотивів пісок повинен завантажуватися з вологістю не більше 0,5% від маси [13].

Таблиця 4.1

Норми часу на екіпірування піском (на один локомотив)

Локомотиви	Витрата часу в хвиликах
Тепловози	
3ТЭ10М	32
2ТЭ116, 2ТЭ10У, 2ТЭ10УТ, М, В, Л	30
2М62У, 2М62	28
ТЭП70, М62	18
ТЭМ7А, ТЭМ7	17
ЧМЭЗ ^Т , ЧМЭЗ ^З , ЧМЭЗ	13
ТЭМ2, ТЭМ1	12
ЧМЭ2	10
Електровози	
ВЛ11М, ВЛ11	30
ВЛ80 ^С , ВЛ80 ^Т , ВЛ80 ^К , ВЛ10, ВЛ10У, ВЛ82	28
ЧС7	27
ВЛ8	25
ЧС4 ^Т , ЧС4, ЧС2 ^Т , ВЛ85, ВЛ60	16
ЧС2	14

Якщо середня вологість кар'єрного піску 4...8%, його потрібно сушити при температурі не вище 350°C. Щільність сирого піску становить близько 2,6 т/м³, а сухого- 1,4...1,6 т/м³.

Кількість пісочних бункерів та їх ємність

Локомотиви	Основні данні		
	Кількість бункерів, шт.	Ємність одного бункера, л	Загальна ємність бункерів, л
Тепловози			
ТЭП70	8	150	1200
2ТЭ10Л, М, В, У, УТ	8	227,5	1820
ЧМЭЗ	4	375	1500-2000
ТЭМ2, ТЭМ1	4	500	2000
2ТЭ116	8	250	2000
ТЭМ7А, ТЭМ7	4	575	2300
М62	4	150	600
2М62У, 2М62	8	150	1200
3ТЭ10М	12	227,5	2730
Електровози			
ЧС4, ЧС4 ^Т	8	200	
ЧС2	До 1993 р. 10 після 8	До 1993 р. 125 після 150	До 1993 р. 1250 після 1200
ВЛ10, ВЛ11	12	250	4000
ВЛ8	16	245	3920
ЧС2, ЧС2 ^Т	6	200	1200
ВЛ80 ^С , ВЛ80 ^Т , ВЛ80 ^К	12	223,3	2680

Для забезпечення локомотива піском у пісочному господарстві є склади сирого та сухого піску, піскосушильні установки, піскороздавальні бункери та мережа трубопроводів для транспортування піску. Склади сирого піску зазвичай організуються на відкритих майданчиках, а для північних районів – у закритих приміщеннях із завантаженням через дахові люки.

Розвантаження піску з вагонів роблять грейферними кранами, а подачу піску до сушильних печей – стрічковими транспортерами, скіповими витягами та скріперними пристроями. Для сушіння піску застосовують уніфіковані сушарки барабанного типу.

2. Зберігання піску

Пристрої для забезпечення локомотивів піском відрізняються потужністю, конструкцією та розміщенням складів. Сирий пісок до просушування зберігається на відкритому майданчику, що розташовується послідовно з піскосушаркою, а сухий пісок - у закритих складах баштового типу. Склад баштового типу висотою 22,7 м та діаметром 12 м має ємність у двох вежах 3400 м³.

Добова витрата сухого піску для забезпечення локомотивів складає:

$$E_{\text{доб}} = \frac{\sum n_{\text{лок}} \cdot L_1 \cdot q_{\text{п}}}{1000} \quad (4.1)$$

де $n_{\text{лок}}$ – число локомотивів, які потребують екіпірування піском;
 L_1 – відстань від попереднього пункту набору піску, 450 км;
 $q_{\text{п}}$ – середня норма витрати піску на 1000 поїздо-км.

Необхідну ємність складу сухого піску розраховують за потребою у зимовий період:

$$E_{\text{скл}}^{\text{сух}} = 30 \cdot E_{\text{доб}} \cdot t_{\text{міс}} \quad (4.2)$$

де $t_{\text{міс}}$ – норма запасу піску у місяцях на зимовий період (прийнято 6 місяців).

Місткість складу сирого піску на території депо можна визначити:

$$E_{\text{скл}}^{\text{сух}} = 30 \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot E_{\text{доб}} \cdot t_{\text{міс}} \quad (4.3)$$

де α – коефіцієнт, що враховує відходи піску при переробці та витрати на господарські потреби;

σ – коефіцієнт збільшення витрати піску в зимовий період по відношенню до середнього;

$t_{\text{міс}}$ – середній час зберігання піску до переробки, 4 місяці.

Лінійні розміри складу сирого піску визначають за ємністю метра погонного складу в залежності від прийнятої ширини. Прийmemo ширину 24 метри, тоді ємність на 1 погонний метр становитиме 62,5 м³ [13].

Контрольні питання до розділу 4

1. Назвіть основні вимоги до піску.
2. Як розраховується добова витрата сухого піску?
3. Як розраховують ємність складу сухого піску?

РОЗДІЛ № 5 Особливості впливу залізниці на навколишнє природне середовище

1. Мастильні матеріали

1.1 Методики оцінки якості моторних олив

Оптичний показник забруднення моторних олив визначається відповідно до ГОСТ 24943-81 «Оливи моторні. Фотометричний метод оцінки забрудненості олив, що працювали», що встановлює прискорений метод оцінки забруднення відпрацьованих моторних олив для тепловозних, автотракторних і суднових дизелів загального призначення продуктами, що утворюються при експлуатації двигунів [21].

Сутність методу полягає в розчиненні проби випробуваної оливи в бензині, визначенні оптичної густини розчину на фотоелектроколориметрі та обчисленні фотометричного коефіцієнта забруднення.

Аналіз здійснюється в такий спосіб. Відібрану для аналізу оливу витримують 30 хвилин у сушильній шафі при температурі 60...70°C, потім 5 хвилин перемішують струшуванням. Від підготовленої проби піпеткою із грушею відбирають 1,0 см³ оливи й переносять в мірний циліндр, куди також додають бензин-розчинник з розрахунку 20-кратного розведення оливи. Розчин ретельно перемішують. Отриманим розчином заповнюють чисту кювету, поміщають в прилад і вимірюють оптичну густину розчину (при довжині хвилі $\lambda=540$ нм - зелений світлофільтр).

Фотометричний коефіцієнт забруднення (τ) у см⁻¹ обчислюють за формулою:

$$\tau = 2,303 \cdot \frac{i}{\sigma} \cdot D, \quad (5.1)$$

де 2,303 – основа натурального логарифма;

i – ступінь розведення оливи розчинником:

$$i = \frac{V_o + V_p}{V_o}, \quad (5.2)$$

V_p – об'єм розчинника, см³;

V_o – об'єм оливи, см³;

σ – відстань між робочими гранями кювети (товщина шару), см;

D – оптична густина оливи, визначена по фотоелектроколориметру.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне двох паралельних визначень.

Температура спалаху у відкритому тиглі визначається згідно методики ДСТУ ГОСТ 4333:2018 «Нафтопродукти. Методи визначення температур спалаху та займання у відкритому тиглі» [34].

Сутність методів полягає в нагріванні проби відпрацьованої оливи у відкритому тиглі зі встановленою швидкістю доти, поки не відбудеться спалах пари (температура спалаху) нафтопродукту над його поверхнею від запального пристрою і поки при подальшому нагріванні не відбудеться загоряння продукту (температура запалення) із тривалістю горіння не менше 5 с.

Випробування проводиться в апараті для визначення температури спалаху у відкритому тиглі типу ТВО наступним чином. Тигель заповнюють нафтопродуктом так, щоб верхній меніск точно збігався з міткою, а також видаляють пухирці повітря з поверхні проби.

Тигель із пробною оливи нагрівають за допомогою електрообігрівання. Запалюють полум'я запального пристрою (діаметр полум'я приблизно 4 мм). Починаючи з температури не менш чим на 28°C нижче температури спалаху, щораз застосовують запальний пристрій при підвищенні температури проби на 2 °C. Полум'я запального пристрою переміщують у горизонтальному напрямку, не зупиняючись над краєм тигля, і проводять ним над центром тигля в одному напрямку протягом 1 с. При наступному підвищенні температури переміщують полум'я запалювання у зворотному напрямку.

За температуру спалаху приймають температуру, що показував термометр з появою першого синього полум'я над частиною або над всією поверхнею випробуваного нафтопродукту. Додатково вона має бути підтверджена наступним спалахом через 2°C.

Визначення в'язкості олив проводять за вимогами ДСТУ ГОСТ 33-2003 «Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості», який встановлює метод визначення кінематичної в'язкості п рідких нафтопродуктів, прозорих і непрозорих рідин виміром часу витікання певного об'єму рідини під дією сили ваги через калібрований скляний капілярний віскозиметр [33].

Сутність методу полягає у вимірюванні каліброваним скляним віскозиметром часу витікання, у секундах, певного об'єму випробуваної рідини під впливом сили ваги при постійній температурі. Кінематична в'язкість є добутком обмірюваного часу витікання на постійну віскозиметра.

Випробування проводять наступним чином. Беруть два чистих сухих каліброваних віскозиметри з межами виміру, що відповідають передбачуваній в'язкості. Зразок наливають у скляну колбу місткістю 100 см³ у кількості, достатній для заповнення двох віскозиметрів, і щільно закупорюють. Занурюють колбу на 30 хвилин у лазню з киплячою водою. Далі колбу виймають із лазні, щільно закупорюють і струшують 1 хвилину. Заповнюють два попередньо нагрітих у шафі віскозиметра й поміщають у лазню відповідно до конструкції апарата.

Заповнений віскозиметр витримують у лазні доти, поки він не прогріється до температури випробування. Час, потрібний для проходження зразка від

першої риски віскозиметра до другої, реєструють. Із двох визначень розраховують середнє арифметичне значення кінематичної в'язкості n , мм²/с.

Кінематичну в'язкість n , мм²/с, розраховують за формулою:

$$n = C \cdot t \quad n = C \cdot t, \quad (5.3)$$

де C – калібрована постійна віскозиметра, мм²/с²;

t – середнє арифметичне значення часу витікання, с.

Визначення вмісту води проводиться згідно вимог ГОСТ 1547-84 «Оливи і мастила. Методи визначення наявності води» та ДСТУ ГОСТ 2477:2021 «Нафта та нафтопродукти. Метод визначення вмісту води» [20, 31]. По-перше, проводиться якісний аналіз оливи на наявність води. Дослідження проводиться наступним чином. Оливну баню заповнюють циліндровою оливою, нагрівають та поміщають у неї пробірку з досліджуванним зразком. Далі вивчають поведінку оливи у пробірці, доки температура у ній не сягне 130°C. Вміст води вважають встановленим, якщо при кожному дослідженні кожного зразка чутний малопомітний тріск зі спізненням (підтверджений при повторному дослідженні).

Для визначення кількості води в оливі використовують методику ДСТУ ГОСТ 2477:2021. Сутність методу полягає в нагріванні проби нафтопродукту з нерозчинним у воді розчинником і вимірі об'єму сконденсованої води [31].

Дослідження проводиться в такий спосіб. Змішують у колбі пробу з розчинником (толуолом). Включають нагрівач, вміст колби доводять до кипіння і далі нагрівають так, щоб швидкість конденсації дистиляту в приймач була від 2 до 5 крапель в 1 с. Пальник поступово піднімають і стежать за швидкістю дистиляції, щоб вона не перевищувала 5 крапель в 1 с. Перегонку припиняють, як тільки об'єм води в приймачі-уловлювачу перестає збільшуватися і верхній шар розчинника стає зовсім прозорим. Крапельки води, що залишилися на стінках трубки холодильника, зіштовхують у приймач-уловлювач скляною паличкою. Далі очікують охолодження колби (доки температура розчинника і води стає кімнатною), апарат розбирають й зіштовхують скляною паличкою крапельки води зі стінок приймача-уловлювача.

Потім записують об'єм води, що зібралася в приймачі-уловлювачі, з точністю до однієї верхньої поділки нижньої частини приймача-уловлювача. Масову (X) або об'ємну (X_1) частку води у відсотках обчислюють за формулами:

$$X = \frac{V_o}{m} \cdot 100, \quad (5.4)$$

$$X_1 = \frac{V_o}{V} \cdot 100, \quad (5.5)$$

де V_o – об'єм води в приймачі-уловлювачі, см³;

m – маса проби, г;

V – об'єм проби, см³.

За результат випробування приймають середньоарифметичний результат двох визначень. Якщо об'єм води в приймачі-уловлювачу при кожному дослідженні кожного зразка складає 0,03 см³ і менше, вміст води вважають слідами.

Визначення лужного числа проводять за вимогами ДСТУ 5094:2008 «Нафтопродукти. Оливи мастильні, присадки і пакети присадок. Визначання загального лужного числа методом потенціометричного титрування», попередньо визначивши рН відповідно до інструкції рН-метра зі скляними електродами.

Аналіз проводять в такий спосіб. У стаканчик для титрування беруть наважку аналізованої оливи (відповідно до вимог ДСТУ маса становить 5 г) і розчиняли в 50 мл розчинника (спиртово-толуольній суміші). Стаканчик встановлюють на титрувальний стенд, опускають в розчин електроди, включають мішалку й визначають початкову величину ЕРС. Для визначення загального лужного числа титрування продовжують до величини ЕРС, встановленої в кислому буферному розчині. Визначення проводять прямим титруванням. Далі проводять контрольний дослід з тим же об'ємом розчинника, але без аналізованого продукту (проводять титрування до величини ЕРС, встановленої в кислому буферному розчині). Загальне лужне число (Л) у міліграмах КОН на 1 г продукту, визначене прямим титруванням, обчислювали за формулою:

$$L = \frac{(V - V') \cdot T}{m}, \quad (5.6)$$

де V – об'єм 0,1 н розчину соляної кислоти, що була витрачена на титрування контрольного досліду до величини ЕРС у кислому буферному розчині, мл;

V' – об'єм розчину соляної кислоти, що була витрачена на титрування до величини ЕРС у кислому буферному розчині, мл;

T – титр 0,1 н розчину соляної кислоти, мг/мл КОН;

m – маса наважки оливи, г.

Проводять два паралельні досліди при дослідженні кожного зразка і за результат приймають середнє арифметичне.

Визначення щільності проводять за вимогами ДСТУ ГОСТ 31072:2006 «Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах АРІ ареометром» [32]. Суть методу полягає в зануренні ареометра у випробовуваний продукт, вимірюванні значень за шкалою ареометра при температурі визначення і перерахунку результатів на щільність при температурі 20°C.

Аналіз проводиться в такий спосіб. Циліндр для ареометрів встановлюють на рівній поверхні. Пробу досліджуваного продукту наливають в циліндр, що має ту ж температуру, що і проба, уникаючи утворення бульбашок і втрат від випаровування. Бульбашки повітря, які утворюються на поверхні, знімають фільтрувальним папером. Температуру досліджуваної проби вимірюють до і після вимірювання щільності по термометру ареометра. Температуру підтримують постійною з погрішністю не більше 0,2°C. Чистий і сухий ареометр поволі і обережно

опускають в циліндр з досліджуваним продуктом, підтримуючи ареометр за верхній кінець, не допускаючи змочування частини стрижня, розташованої вище за рівень занурення ареометра.

Коли ареометр встановився і припинилися його коливання, знімають значення по верхньому краю меніска, при цьому око знаходилося на рівні меніска. Відлік за шкалою ареометра відповідає щільності нафтопродукту при температурі випробування ρ (маса продукту що міститься в одиниці його об'єму, г/см³). Виміряну температуру випробування округляють до найближчого значення температури, вказаної в таблиці обов'язкового додатку 1 ДСТУ. По округленому значенню температури і щільності, ρ , визначеної за шкалою ареометра, знаходять щільність випробовуваного продукту при 20°C по таблиці додатку 1. Проводять два паралельні досліди при дослідженні кожного зразка і за результат приймають середнє арифметичне.

Визначення вмісту механічних домішок проводять за вимогами ГОСТ 10577-78 «Нафтопродукти. Метод визначення вмісту механічних домішок» [18].

Аналіз проводять в такий спосіб. У стакан поміщають підготовлену пробу досліджуваного продукту і розчиняють підігрітим розчинником (толуолом), нагрітим попередньо до 80°C. Вміст стакана фільтрують через паперовий фільтр, розміщений у скляній воронці, закріпленій в штативі. Розчин наливають на фільтр по скляній паличці, воронку з фільтром наповнюють розчином не більш ніж на 3/4 висоти фільтра. Залишки нафтопродукту або тверді домішки, що залишалися на стінках стакана, знімали скляною паличкою та змивають нагрітим до 80°C толуолом на фільтр. Після фільтрації фільтр з осадом промивають нагрітим до 80°C толуолом до тих пір, доки на фільтрі не зникають сліди нафтопродукту і розчинник не стає прозорим і безколірним.

Після закінчення промивання фільтр з осадом переносять у стаканчик для зважування з відкритою кришкою, в якому сушився чистий фільтр. Стаканчик з фільтром сушать у сушильній шафі при температурі (105±2) °C не менш ніж 45 хв. Далі стаканчик закривають кришкою, охолоджують в ексікаторі протягом 30 хвилин та зважують з похибкою не більше 0,0002 г.

Стаканчик з фільтром сушать та зважують до отримання розходження між двома послідовними зважуваннями не більше 0,0004 г. Масову частку механічних домішок (X) в процентах обчислюють за формулою:

$$X = \frac{(m_1 - m_2)}{m_3} \cdot 100, \quad (5.7)$$

де m_1 – маса стаканчика для зважування з паперовим фільтром та механічними домішками, г;

m_2 – маса стаканчика для зважування з чистим підготовленим паперовим фільтром, г;

m_3 – маса наважки, г.

Проводять два паралельні досліди при дослідженні кожного зразка і за результат приймають середнє арифметичне. Масова часта механічних домішок до 0,005 % включно оцінюють як їх відсутність [12, 16, 41, 45, 47, 50, 51].

1.2 Особливості утворення оливних відходів на підприємствах транспортної інфраструктури та їх токсичні властивості

За оцінками експертів світові об'єми виробництва змащувальних олив різних марок на сьогодні складає близько 38,5 млн. т на рік. Незначна їх частина (10...20 %) безповоротно втрачається у процесі використання на випаровування, розливи, угар, витік. Основна ж їх маса (80...90 %) поступово забруднюється різноманітними металевими, мінеральними та органічними домішками, зазнає термічного розкладення через взаємодію з нагрітими частинами обладнання, окиснення під дією кисню повітря, на них діють такі фактори навколишнього середовища, як тиск, електричне поле та природне освітлення. Як результат, відпрацьована олива повністю змінює свої характеристики і стає дуже густою ілоподібною речовиною чорного або темно-коричневого кольору, густою сумішшю різного роду рідин з добавками твердих речовин - оксидів металів, продуктів зносу [12, 16, 41, 45, 47, 50, 51].

Свої особливості має робота та поступове забруднення моторних олив, що працюють на тепловозах і дизель-поїздах підприємств залізничного транспорту. Мастильні матеріали, що використовуються у вузлах тертя локомотивів, знижують втрати потужності на тертя, відводять тепло і захищають вузли тертя від корозії та у багатьох випадках є ущільнюючим середовищем. Двигуни внутрішнього згоряння, що встановлені на тепловозах і дизель-поїздах, працюють у широкому діапазоні частоти обертання колінчастого валу при змінних навантаженнях і різноманітних температурних режимах.

Особливо негативним явищем є потрапляння до оливи навіть у незначній кількості палива або води. При потрапленні дизельного палива в оливу в першу чергу знижується її в'язкість, адгезія і температура спалаху. Неповне згоряння палива викликає потрапляння у картер смолисто-сажистих часток, що забруднюють оливу та інтенсифікують лако- і нагароутворення.

При потрапленні води руйнується оливна плівка в підшипниках колінчастого валу і антифрикційний шар підшипників, посилюється зношення і корозія деталей двигунів, з'являються згустки, які забивають оливопровід та ускладнюють потрапляння оливи до деталей. Також вода утворює стійку емульсію з оливою, що не тільки погіршує якість оливи, а й ускладнює її подальшу регенерацію. Такі відпрацьовані оливи по закінченні строку роботи видаляють із системи змащування та замінюють свіжими. Їх кількість дорівнює приблизно 31 млн. т на рік. Через вищезазначені зверх нормативні втрати, розливи, витоки реальна кількість зібраних відпрацьованих олив у світі складає 19 млн. т на рік, тобто половину від прогнозованої цифри [36].

Світове використання моторних олив складає більше 30 млн. т на рік, приблизно 80 % з цієї кількості складають базові оливи групи I, тобто традиційної селективної очистки (за класифікацією API). Також оливи саме цієї групи у найбільшій кількості виготовляють в країнах ЄС, необхідну якість одержують шляхом додавання до базових олив різноманітних присадок.

За прогнозами експертів, у найближчі роки очікується зростання виробництва олив III групи з більшими значеннями індексу в'язкості, а також синтетичних олив, що мають такі переваги, як меншу залежність в'язкості від температури та низьку температуру застигання, низьку випаровуваність та менше використання і втрати оливи (як результат, економія оливи), кращу стійкість до окиснення та термічну стабільність і т.п. Україна на сьогодні використовує за різними оцінками більше 1млн.т свіжих олив на рік і збирає за офіційними даними близько 50 тис. т на рік (5 % від загальної кількості).

Відпрацьовані нафтопродукти є токсичними відходами, які мають невисокий ступінь біорозкладання (10...30 %). Токсичність нафтопродуктів визначається сполученням вуглеводнів, які входять до їх складу. Особливо негативну дію відпрацьовані нафтопродукти мають на центральну нервову та серцево-судинну системи людини, ендокринний апарат організму, знижують гематологічні показники, викликають ураження печінки та щитовидної залози.

Велику шкоду відпрацьовані нафтопродукти спричиняють і навколишньому природному середовищу і особливо водним ресурсам. Так, за оцінками експертів один літр відпрацьованої оливи може забруднити близько семи мільйонів літрів ґрунтових вод [22-24].

Головним чином, токсичність відпрацьованих олив зростає через поступове збільшення вмісту бенз(α)пірену, що у значній мірі визначає третій клас токсичності цих відходів. Вміст у відпрацьованих оливах бенз(α)пірену в більшості країн служить показником їхньої небезпеки, оскільки сумарна токсична дія бенз(α)пірену приблизно в 10000 разів вище, ніж в оксидів азоту, що також утворюються у працюючих оливах. Вміст бенз(α)пірену може збільшуватися до 15 мг/кг (загальний вміст поліциклічних аренів до 482 мг/кг), а частка від загальної канцерогенності відпрацьованої оливи становить 18 %.

Саме тому відпрацьовані нафтопродукти були віднесені світовим співтовариством до категорії небезпечних відходів.

Відпрацьовані оливи містять у своєму складі за різними оцінками близько 38 хімічних сполук, що мають мутагенну та канцерогенну дію. Серед цих сполук, крім бенз(α)пірену, треба виділити фурані, діоксини, поліхлордіфеніли та інші. Останні дві включені Стокгольмською конвенцією у список дванадцяти найтоксичніших стійких органічних забруднювачів планети.

Тому на своїй третій нараді конференція сторін Стокгольмської конвенції, яка пройшла з 30 квітня по 4 травня 2007 року в Дакарі (Сенегал), своїм рішенням прийняла оновлений проект керівних принципів по найкращим на-явним методам (ННМ) і попереднім вказівкам по найкращим видах природоохоронної діяльності (НВПД).

Хімічні речовини, що були зазначені в Стокгольмській конвенції, включають: поліхлорований дібензо-п-діоксини (ПХДД), поліхлоровані дібестофурані (ПХДФ), поліхлоровані біфеніли (ПХБ) і гексахлорбензол (ГХБ). Ці речовини, крім того, що вони є речовинами з документованою токсичністю, є достатньо стійкими, здатні до біоаккумуляції і перенесення на великі відстані.

У керівних принципах і вказівках вказані процеси, які ведуть до ненавмишно-го утворення і викиду цих речовин, а також їх вплив на людину і навколишнє середовище. Крім того, перераховані ефективні заходи для запобігання викидам цих речовин. Так, серед інших до них віднесені використання маловідхідної технології; використання менш небезпечних хімічних речовин; сприяння розповсюдженню практики рекуперації і рециркуляції відходів і речовин, які утворюються і використовуються в межах того або іншого процесу; заміна матеріалів в тих випадках, коли вони є стійкими органічними забруднювачами або коли є безпосередній зв'язок між матеріалами і викидами стійких органічних забруднювачів з джерела; раціональне господарювання і програми в області профілактичного ремонту; удосконалення методів регулювання відходів в цілях припинення відкритого або іншого неконтрольованого спалювання відходів, включаючи спалювання звалищ сміття.

При розгляді пропозицій про будівництво нових установок по видаленню відходів увагу слід приділяти таким альтернативам, як заходи щодо максимального скорочення утворення різних типів відходів, включаючи відновлення ресурсів, повторне використання, рециркуляцію, розділення відходів і сприяння використанню продуктів, які приводять до утворення меншого об'єму відходів. На основі цього підходу повинні ретельно розглядуватися питання охорони здоров'я людини. Також серед заходів передбачені максимальне скорочення цих речовин, присутніх в продуктах у вигляді забруднювачів; необхідність уникати використання елементарного хлору або хімічних речовин, що включають елементарний хлор [14, 37, 46].

Окрім Стокгольмської конвенції існує також ще одне глобальна угода, а саме Базельська конвенція щодо контролю за транскордонним перевезенням небезпечних відходів і їх видаленням, яка була прийнята в 1989 році і на-брала чинності 1992 року. Базельська конвенція накладає на країни-учасниці зобов'язання, поміж інших, по мінімізації виробництва небезпечних відходів; забезпеченню адекватних установок по утилізації; а також забезпеченню екологічно безпечного управління відходами.

Конференція сторін Базельської конвенції на своєму восьмому засіданні в грудні 2006 року прийняла оновлений варіант загальних технічних вказівок по екологічно обґрунтованому управлінню відходами, що складаються із стійких органічних забруднювачів, а також оновлений варіант вказівок по екологічно обґрунтованому поводженню з відходами, що складаються з поліхлорованих біфенілів, поліхлорованих терфенілів або полібромованих біфенілів, відходами, що містять ці речовини, або відходами, забрудненими цими речовинами.

Підприємства по переробці відпрацьованих оливо наводяться в Стокгольмській конвенції як потенційне джерело утворення і викидів хімічних речовин.

Виявилося, що відпрацьовані оливи можуть бути забруднені поліхлорованим дібензо-п-діоксинами (ПХДД), поліхлорованими дібензофуранами (ПХДФ) і поліхлорованими біфенілами (ПХБ).

Зазначено, що в даний час немає свідощв того, що на підприємствах по переробці відпрацьованих олив відбувається новоутворення ПХДД/ПХДФ або ПХБ. Наявні дані свідчать, що викиди ПХДД/ПХДФ і ПХБ підприємствами по переробці відпрацьованих олив або підприємствами по їх транспортуванню і утилізації відбуваються в результаті промислового, спеціального виробництва ПХБ або хлорбензолів, які потрапляють у відпрацьовані оливи як забруднювачі або в процесі синтезу (цих хімічних речовин), або в процесі використання або попередньої рециркуляції. У цьому сенсі підприємства по переробці відпрацьованих олив є не джерелом формування хімічних речовин, а швидше джерело їх розповсюдження.

Згідно наявної інформації, варіанти утилізації відпрацьованих олив включають: повторне використання або регенерацію, термічний крекінг, і спалювання або використання як паливо. Слід зазначити, що в багатьох країнах також практикується скидання на звалище і відкрите спалювання [22-24, 33, 34].

Так як на підприємствах по переробці відпрацьованих олив саме відпрацьовані оливи є основними джерелами забруднення ПХДД/ПХДФ і ПХБ, єдиною основною мірою по скороченню емісій ПХДД/ПХДФ і ПХБ на таких підприємствах є переробка відпрацьованих олив з низькими концентраціями ПХДД/ПХДФ і ПХБ. Регенована олива має містити не більше 50 мільйонних часток (мг/л) полі хлорованих біфенілів та трифенілів.

Європейська асоціація промисловості повторного очищення (Groupement Europeen de l'Industrie de la Regeneration; GEIR) рекомендує, щоб при регенерації перевага віддавалася тим видам відпрацьованих олив, що не містять хлор.

У країнах Європейського Союзу на сьогодні діє директива Ради 75/439/ЕЕС, спрямована на утворення уніфікованої системи збирання, переробки, зберігання та видалення відпрацьованих олив. Директива дозволяє країнам-членам ЄС компенсувати компаніям витрати на збирання та видалення відпрацьованих олив. Найбільш пріоритетним вважається регенерація відпрацьованих олив, а не їх спалення; менш пріоритетним - їх знищення, контрольоване зберігання або заховання.

Країни-члени ЄС мають забезпечувати безпечно збирання та видалення відпрацьованих олив. Заборонено скидати такі відходи у водні об'єкти або дренажні системи.

Будь-яке підприємство, що займається видаленням відпрацьованих олив, повинне отримати дозвіл від компетентного органу. А підприємства, що займаються збиранням відпрацьованих олив, мають проходити реєстрацію та контролюватися [14, 37, 46].

1.3 Загальні принципи поводження з нафтовміщуючими відходами на залізничному транспорті

Використання такої вторинної сировини як відпрацьовані оливи і технологічні шлами, що включає їх збирання, зберігання, очищення, регенерацію та повернення у технологічний процес, зумовлені рядом екологічних та економічних потреб. Це складна кількарівнева процедура, регламентована відповідними законодавчими актами, розпорядженнями і ухвалами Міністерств і відомств. Ними затверджуються певні норми збору відпрацьованих олив, які обчислюються у відсотках від витрати свіжих олив, згодом на їх основі розробляють плани збору і регенерації відпрацьованих олив для підприємств різних галузей.

Для отримання позитивного результату від регенерації, тобто отримання високоякісного продукту, необхідно чітко дотримуватись вимог до проведення попередніх заходів. До них відносять збирання відпрацьованих олив різних марок та різного ступеню забруднення в окремих резервуарах з відповідним маркуванням, зберігання їх з дотриманням необхідної температури (з використанням теплоізоляції та засобів підігрівання), транспортування до пунктів регенерації (рис. 5.1, 5.2). На рис. 5.3 наведений типовий нафтошла-монакопичувач та його пошарова структура [14, 37, 46].

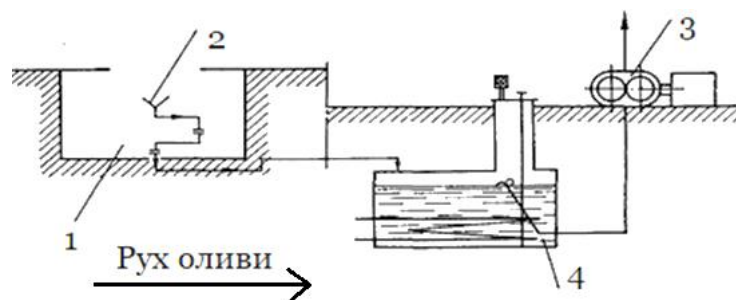


Рисунок 5.1 – Збирання відпрацьованої моторної оливи при заглибленій накопичувальній ємкості

1 - оглядова яма; 2 - приймальна воронка; 3 - насос; 4 – накопичувальна ємкість

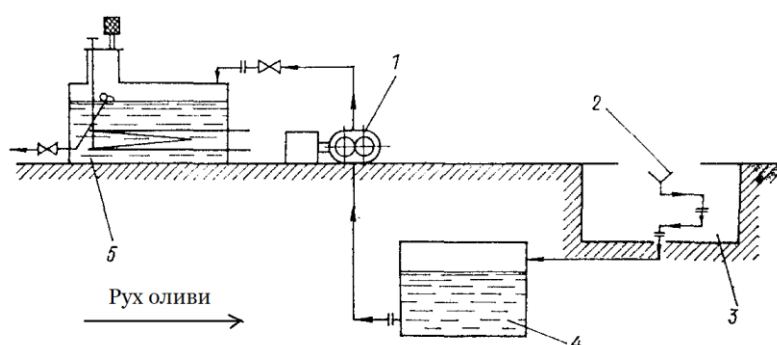


Рисунок 5.2 – Збирання відпрацьованої моторної оливи при наземній накопичувальній ємкості

1 - насос; 2 - приймальна воронка; 3 - оглядова яма; 4 - проміжна ємкість; 5 - накопичувальна ємкість

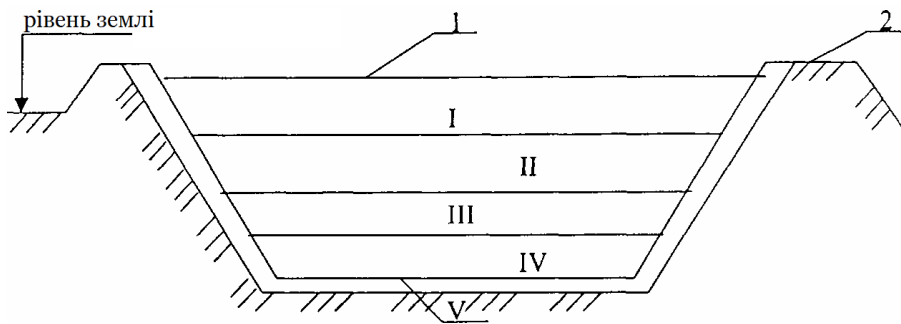


Рисунок 5.3 – Типовий нафтошлямонакопичувач

1 - рівень нафтопродукту; 2 - обвалування; I - шар нафтопродукту, що прогрівається у літній період; II - шар застиглого нафтопродукту; III - шар води; IV - осад; V - основа нафтошлямонакопичувача

Зокрема при зберіганні відпрацьованих олив і нафтошлямів підприємства мають дотримуватись вимог ДСТУ 4454:2005, а саме:

- для зберігання темних нафтопродуктів (таких як моторна олива, мазут, паливо нафтове та ін.) застосовують такі види сховищ, як підземні сховища у відкладеннях кам'яної солі, гіпсу, ангідриду, доломіту, мергелю, вапняку, глини, магматичної та вічномерзлих порід; резервуари стаціонарні та рухомі: металеві горизонтальні низького тиску и вертикальні без понтону, газового обв'язування та ін.; резервуари стаціонарні залізобетонні без газового обв'язування;
- металеві резервуари для зберігання відпрацьованих нафтопродуктів повинні мати внутрішні антикорозійні покриття, бути стійкими до дії нафтопродуктів, підтоварної води, пари (або гарячої води);
- резервуари повинні бути підготовлені до наливання нафти і нафтопродуктів, тобто обмиті під напором гарячою водою з розчинниками нафти або миючими засобами, просушені і так далі; нафтопродукти кожної марки слід зберігати в окремих резервуарах, що виключають попадання в них атмосферних опадів і пилу;
- металеві резервуари, за винятком резервуарів підприємств тривалого зберігання, повинні піддаватися періодичній зачистці не менше одного разу на два роки; металеві і залізобетонні резервуари для нафти, мазуту, моторних палив, моторних олив і аналогічних по фізико-хімічним властивостям нафтопродуктів слід зачищати по мірі необхідності, що визначається умовами збереження їх якості, надійною експлуатацією резервуарів і устаткування; відстій води і забруднень з резервуарів слід видаляти не рідше ніж один раз на рік;

- при зберіганні нафтопродуктів в резервуарах не допускається наявність підтоварної води вище за мінімальний рівень, що забезпечується конструкцією пристрою для дренажу води;
- нафтопродукти в тарі слід зберігати на стелажах, піддонах або в штабелях в критих складських приміщеннях, під навісом або на спланованому майданчику, захищеному від дії прямих сонячних променів і атмосферних опадів; тару з нафтопродуктами встановлюють пробками вгору.

Крім того, підприємства зобов'язані дотримуватись технічних умов на відпрацьовані нафтопродукти, а також ретельно перевіряти справність і особливо герметичність резервуарів і арматури для попередження потрапляння вологи та сторонніх предметів, періодично очищувати ємкості від осаду, що утворюється в результаті відстоювання оливи. Місця зберігання відпрацьованих олив мають бути забезпеченими протипожежними засобами у відповідності до норм та правил, що діють на підприємстві. Приклад резервуару для зберігання темних нафтопродуктів наведений на рис. 1.4 [14, 37, 46].

Використання олив завжди пов'язане з тими чи іншими змінами фізико-хімічних властивостей, що лімітують строк їхньої корисної праці. Але дослідження показали, що в основному груповий хімічний склад оливи змінюється у незначній мірі. Продукти фізико-хімічних перетворень олив, а також шкідливі домішки, що потрапляють ззовні та роблять оливи непридатними для подальшої роботи, складають лише незначну частину загальної їх маси та за допомогою деяких методів переробки можуть бути видалені. Після вилучення забруднюючих речовин поновлюються первісні властивості олив і їх можна використовувати повторно у суміші зі свіжими оливами.

Основними напрямками переробки відпрацьованих олив є спільна переробка у суміші з нафтою на нафтопереробних заводах та цільова їх переробка з отриманням компонентів олив (регенерація).



Рисунок 5.4 – Двостінний резервуар для нафтопродуктів [4]

1.4 Основні методи регенерації відпрацьованих олив

Спільну переробку відпрацьованих олив у суміші з нафтою можна проводити на нафтопереробних заводах по повній технологічній схемі, кількість олив, що додаються при цьому, не повинно перевищувати 1 % від об'єму сирової нафти. Але наявність забруднень та присадок у відпрацьованих оливах негативно впливає на роботу електрознесолюючих пристроїв, погіршує процес розділення нафти, підвищує вміст нафтопродуктів у стічних водах.

Основним методом на сьогодні вважається регенерація відпрацьованих олив; цей спосіб є економічно рентабельним, тому що при правильній організації процесу вартість відновленої оливи на 40-70 % нижча за ціну свіжих олив при практично однаковій їхній якості. За деякими оцінками для виробництва 1 л нової високоякісної мастильної оливи необхідно 67,2 л сирової нафти і лише 1,6 л відпрацьованої оливи.

Регенерація олив здійснюється або безперервним їх очищенням під час роботи у циркуляційних системах промислового обладнання та двигунів за допомогою фільтраційних пристроїв та центрифуг, або відновленням відпрацьованих олив, що зливаються із різноманітних агрегатів та обладнання, на оливорегенераційних приладах, як правило, у стаціонарних умовах (спеціальні оливорегенераційні станції, цехи, заводи).

Методи регенерації можна поділити на фізичні, фізико-хімічні, хімічні та комбіновані. На практиці най-більш поширеними є комбіновані методи, які у найбільшій мірі забезпечують якісне очищення відпрацьованих олив [14, 37, 46].

1.4.1 Фізичні методи

До фізичних відносять такі методи, при використанні яких видаляють лише механічні домішки, тобто пил, пісок, частинки металу, воду, смолянисті, асфальтоподібні, коксоподібні і вуглисті речовини, а також пальне, не зачіпаючи при цьому хімічної основи олив, що очищуються. До них належать відстоювання, фільтрація, сепарація (центрифугування), промивка водою; також при необхідності проводиться відгін легких паливних фракцій.

Відстоювання - перша і обов'язкова операція процесу регенерації. Механічні домішки і вода, що знаходяться в оливі в зваженому стані, осідають при спокійному стоянні оливи протягом 2...18 годин у залежності від температури нагріву та висоти стовпа рідини. Відстій заснований на принципі осадження частинок під дією їх сили тяжіння. Швидкість осадження (з рівняння Стокса) частинок тим більше, чим більше їх розмір і питома вага і менше в'язкість рідини. В першу чергу випадають в осад металеві частинки, кокс і смолянисті речовини. Згодом верхній шар відстоюної оливи забирають через верхній приймач, а нижній шар води із залишком оливи потрапляє у інший відсік, де за допомогою жироловлівачів проходить остаточне видалення оливних залишків.

Таким методом очищають оливи з невисоким вмістом води. Відстоювання відпрацьованих олив від механічних домішок та води і при підігріві не завжди приводить до бажаного результату: іноді навіть при тривалому процесі значна кількість домішок залишається в зваженому стані, тобто практично олива не

відстоюється. Це відноситься до відпрацьованих дизельних і автомобільних олив з диспергуючими (миючими) присадками, а також до інших олив, забруднених дрібнодисперсними домішками.

Сепарація дозволяє більш глибоко провести очищення відпрацьованої оливи. Це процес центрифугування, коли під впливом відцентрових сил продукти розділяються у відповідності до густини: найбільш важкі забруднюючі домішки відтісняються до стінок ємкості, утворюючи кільцевий шар відкладень; наступний шар складається з води, що виділяється, а третій кільцевий шар, розташований біля осі обертання, є очищеною оливою. Вода та механічні домішки осідають на кожусі барабану та видаляються з нього у шламоприймач. Оливу при необхідності подають на повторну сепарацію або відправляють на подальше очищення за допомогою інших методів.

Фільтрація – процес розділення неоднорідних систем за допомогою пористих перегородок, які затримують одні фази цих систем і пропускають інші. До таких процесів відноситься розділення суспензій на чисту рідину і вологий осад, наприклад, відділення від оливи механічних домішок або вибілюючої глини.

Метод фільтрації відносять до найбільш раціональних методів регенерації, бо його можливо використовувати безпосередньо в процесі експлуатації, коли у оливні системи двигунів та приладів включені фільтри спеціальних конструкцій. Тип таких конструкцій визначається умовами використання оливи та характером забруднення. Для регенерації олив найчастіше застосовують патронні фільтри.

Недолік цього способу – низька ефективність очищення у зв'язку з тим, що мікрочастинки забруднень розміром до 1 мкм проходять через пори фільтрів. Крім того, фільтрація лише усуває механічні домішки і ніяк не впливає на ті процеси, що призводять до змін фізико-хімічних властивостей оливи, а тому необхідна подальша обробка хімічними реагентами.

При регенерації відпрацьованих олив з двигунів внутрішнього згорання, крім видалення продуктів старіння, необхідний також відгін легких паливних фракцій, без чого неможливо отримати оливи з первинною в'язкістю і температурою спалаху. Процес заснований на різниці температур кипіння палива і оливи. При нагріванні відпрацьованої оливи в першу чергу з нього випаровується паливо, оскільки температура його кипіння значно нижче температури кипіння оливи.

Відпрацьовані оливи промивають водою для видалення з них кислих продуктів – водорозчинних низькомолекулярних кислот, а також мил – солей органічних кислот, розчинних у воді. Також цей метод частково використовують і для видалення механічних домішок (наприклад, вуглистих часточок). Промивка водою не забезпечує повного відновлення олив при глибокому їх старінні. Цим методом часто користуються при експлуатації турбінних олив, для видалення з них розчинених у воді низькомолекулярних кислот. Вода з розчиненими в ній кислотами може бути відокремлена від оливи сепарацією при підігріві до температури близько 60 градусів.

Загалом, якщо говорити по всіх вищезазначених фізичних методах, то їх треба віднести до попереднього способу очищення, який потребує подальших

операцій по корегуванню інших фізико-хімічних властивостей відпрацьованої оливи, адже його суттєвим недоліком є низька ступінь очищення [14, 37, 46].

Окрім вище зазначених методів, які відносять до переліку фізичних, слід також відзначити термічні методи, що дозволяють отримати теплову енергію, але утворюють додаткові проблеми через встановлення високовартісного обладнання та додаткового устаткування для очищення продуктів згорання. Існують розробки апаратів і технологічних схем в області опалення промислових та побутових приміщень, у яких в якості пального пропонується використовувати, зокрема, і відпрацьовані моторні оливи, що дозволяє скоротити витрати та підвищити рентабельність особливо великих виробництв.

1.4.2 Фізико-хімічні методи

До фізико-хімічних методів відносять коагуляцію та адсорбцію. Під час коагуляції злипаються та збільшуються часточки колоїдної системи з утворенням дірчастих агрегатів, тим самим пришвидшується процес осадження забруднюючих речовин. Адсорбенти діють таким чином, що поглинають та утримують на своїй поверхні значну кількість асфальтосмолистих речовин, кислотних сполук, ефірів та інших продуктів старіння.

На даний час коагуляція служить основним методом для поліпшення фільтрування олив, що не фільтруються, а також для видалення з продуктів окиснення тих смолянистих і асфальтенових речовин, які разом з механічними домішками і елементами присадки, що спрацьовуються, знаходяться в оливі в зваженому (близькому до колоїдного) стані і не можуть бути видалені за допомогою фізичних методів. Коагуляцію можуть викликати: введення в колоїдну систему різних за своєю природою агентів (додавання електролітів і неелектролітів); механічна дія (перемішування або струшування); нагрівання або, навпаки, сильне охолодження, пропускання електричного струму і, нарешті, дія променевої енергії. У всіх випадках причиною коагуляції є зменшення зв'язку частинок з оточуючим їх дисперсійним середовищем. Для регенерації олив, що не фільтруються, як коагулянти використовують різні синтетичні миючі засоби, поверхнево-активні речовини.

Речовини, що використовують для коагуляції, можна розділити на чотири типи: 1. електроліти – кальцинована сода, тринатрійфосфат і т.п.; їх дія заснована на створенні подвійного електричного шару на поверхні частинок; 2. іоногенні ПАВ з активним органічним катіоном або аніоном (органічні електроліти); 3. неіоногенні ПАВ (неелектроліти); 4. поверхнево-активні колоїди і гідрофільні високомолекулярні сполуки.

Ефективними коагулянтами є сульфатна кислота, кальцинована сода, тринатрійфосфат, різноманітні миючі речовини.

Недоліками методу є складнощі з підбором коагулянтів та умов, за яких процес коагуляції пройде успішно (температури, необхідності та інтенсивності перемішування). Так іноді коагуляція забруднень може не відбутися через, наприклад, велику загущеність оливи або значну кількість диспергуючих присадок, або час контакту реагенту з оливою, що очищується, може виявитись завеликим.

Адсорбція - це процес концентрації речовин на поверхні адсорбенту. При обробці адсорбентами може відбуватися хімічна взаємодія між різними кисневмісними сполуками продуктів старіння оливи і адсорбентом. Високий ефект очищення при умілому використанні адсорбентів і порівняльна простота всіх операцій дають можливість використовувати цей метод для відновлення більшості відпрацьованих олив. Важлива умова адсорбційного очищення - інтенсивність та час контакту оливи з адсорбентом, що зазвичай до-сягається двома методами. При першому адсорбент засипають в оливу при інтенсивному перемішуванні 1000...1400 об./хв., яке іде протягом не менше ніж півгодини; далі використаний поглинач відділяють відстоюванням. Другий метод – це фільтрація через шар крупнозернистого адсорбенту [14, 37, 46].

Адсорбенти – силікагель (гідрат кремнієвої кислоти, аморфний кремнезем), окисел алюмінію, алюмосилікатний каталізатор, вибілюючі глини (з попередньою обробкою сильними мінеральними кислотами або коагулянтами-аміноспиртами з подальшою фільтрацією) - бентоніти (монтморілоніт, кліноптілоліт, асканіт, палигорскіт та ін.). Вибілюючі глини застосовуються найчастіше, оскільки всі штучно приготовані адсорбенти дефіцитні і дорого коштують, а вибілюючі глини – природний адсорбент, дешевий і доступний, такий, що має достатньо високу адсорбційну здатність. Цеоліти по своїй хімічній структурі є водними алюмосилікатами з помітним вмістом окислу заліза і невеликим вмістом окислів лужноземельних металів і лугів, газоподібного аміаку, кальцинованої соди. Їх скелетна структура вміщує порожнини, що зайняті крупними іонами та молекулами води. Це приводить до іонного обміну та зворотній дегідратації. У результаті розбіжностей у розмірах та формах кристалів кожний цеоліт має здатність поглинати лише певні групи компонентів. Завдяки цій здатності, а також прекрасним іонообмінним якостям і розвинутій питомій поверхні з'являється можливість проведення виборчої адсорбції різних домішок, починаючи з розчинених органічних сполук різного походження до важких металів і радіонуклідів. Найбільше розповсюдження отримало використання таких природних цеолітів, як кліноптілоліт, палигорскіт, шунгіт, морденіт, монморілоніт та шабазіт. В Україні є свої запаси природних цеолітів, так широко відомі родовища кліноптілоліту с. Сокірниця в Закарпатській області, а також монтморілоніту с. Дашуківка в Черкаській області.

Загальним недоліком адсорбційного методу є необхідність видалення відпрацьованих адсорбентів та шламів, які в подальшому не підлягають утилізації, а просто викидаються, що веде до забруднення навколишнього середовища. Крім того, деякі адсорбенти через недостатньо високі механічні властивості (міцність, опір до стирання) погіршують роботу фільтрів, що в цілому ускладнює процес очищення.

Також до фізико-хімічних методів відносять спосіб очищення та регенерації відпрацьованої моторної оливи, який включає його обробку озоновим повітрям при 40...70°C з наступним очищенням за допомогою 0,1 н розчину гідрозинхлориду та 2 %-го розчину полівінілового спирту. Іноді додатково для очищення оливи використовують ультразвук. Таким чином олива очищається від

смолянистих сполук, але через окиснення компонентів оливи озоном зростає його кислотне число та корозійна активність, що призводить до зростання кількості відходів [14, 37, 46].

1.4.3 Хімічні методи

Сульфатнокислотне очищення – найстаріший і до цих пір найбільш розповсюджений на ряді підприємств нафтової промисловості метод видалення з оливних дистилатів асфальтосмолянистих речовин, кисневмісних і сірковміщуючих сполук та інших небажаних домішок. Для проведення очищення в оливу поступово при постійному перемішуванні додають 4...16 % (по масі) сульфатної кислоти, після чого суміш відстоюють. При цьому утворюються дві рідкі фази – верхній і нижній шари: верхній – кисла олива, що складається з вуглеводнів, вільної сірчаної кислоти і сульфосполук; нижній – кислий гудрон, що складається з вільної сульфатної кислоти, сульфосполук і асфальтосмолянистих речовин.

Сульфатна кислота як хімічний реагент в першу чергу діє на більш реакційноспроможні речовини, що знаходяться у відпрацьованій оливі, такі як смоли і асфальтени, карбонові та оксикислоти, феноли та інші продукти окиснення. Під дією кислоти частина нейтральних смол полімеризується з утворенням асфальтенів і сульфоокислот. Деяка частина асфальтенів розчиняється в сірчаній кислоті. Основна ж їх частина ущільнюється з утворенням кислого гудрону – важкого в'язкого осаду.

При очищенні відпрацьованих олив сульфатна кислота видаляє з них неграничні вуглеводні, асфальто-смолянисті сполуки та деякі інші продукти старіння. Всі шкідливі речовини, за винятком органічних кислот, видаляються з відпрацьованих олив з кислим гудроном, основна ж частина вуглеводнів оливи залишається майже без зміни. Для деяких сортів олив, де необхідне більш глибоке очищення, користуються кислотою високої міцності, олеумом, сірчанамангнідом, які потребують спеціальних умов та спеціального обладнання для використання. Також важливим для будь-якого з методів сульфатнокислового очищення є температурний режим, який обирають окремо для різних груп олив у залежності від їх властивостей та для забезпечення найбільш повного осадження кислого гудрону.

Недоліком використання сульфатної кислоти є присутність в очищеній оливі залишків кислоти та сульфосполук, які негативно впливають на фізико-хімічні характеристики оливи та збільшують його корозійну активність. Крім того утворюється кислий гудрон, що важко утилізується. Видалення кислих сполук потребує значної витрати часу та коштів, а також супроводжується втратою до 50 % оливи. Також для отримання нейтральної реакції до оливи необхідно додати лужні реагенти.

Лужне очищення може бути завершальним етапом після сірчанокислотного очищення, первинним етапом лужноземельного очищення, а також самостійним процесом при регенерації відпрацьованих олив. Для лужного очищення зазвичай застосовують каустичну соду, кальциновану соду, тринатрійфосфат, аміносирти. Тут також уважно слідкують за температурним режимом, який

залежить від марки оливи та знаходиться в межах 70...90°C і обумовлений різною в'язкістю олив [14, 37, 46].

Більш ефективним методом хімічного очищення вважається використання різних селективних розчинників та їх сумішей (фенолу, пропану, суміші фенолу з пропаном), що використовують для очистки залишкових олив, які відносились до незворотньо втрачених. Іноді таке селективне очищення поєднують з сірчано-кислотним. Таким чином кількість відновлених олив суттєво збільшується. Недостатня ступінь очищення відпрацьованих олив при лужному методі обробки пов'язана з присутністю у багатьох оливах різних ти-пів присадок, які суттєво послаблюють коагуляційну та флокуляційну дію лужних реагентів. Тож для кожного типу оливи необхідно підбирати окремі умови для успішної регенерації.

1.4.4 Комбіновані методи

З вище сказаного стає очевидним той факт, що основні методи регенерації відпрацьованих олив не можуть бути застосовані окремо. На практиці часто треба застосовувати різні комбінації способів, щоб забезпечити найкращий ефект очищення та отримати високоякісний продукт. При виборі комбінації методів регенерації необхідно враховувати всі характеристики продуктів старіння відпрацьованих олив, а також вимоги, що пред'являються до ре-генерованих олив, і кількість зібраних олив. Необхідно чітко уявляти екологічні наслідки тих або інших способів регенерації і вибирати найбільш прийнятні в даних умовах методи. Володіючи цими даними, можна визначити, які фізико-хімічні властивості оливи вимагають виправлення та обрати відповідний спосіб його відновлення.

Наведемо кілька основних схем, що застосовують для регенерації олив різних сортів: відстоювання, зневоднення та фільтрація; відстоювання, обробка ПАР, відгін пального, обробка адсорбентом та фільтрація; відстоювання, обробка ПАР, адсорбентом, відгін пального та фільтрація; відстоювання, обробка кислотою, лугом, відгін пального, обробка адсорбентом та фільтрація. Обов'язковою стадією для кожного методу регенерації, як вже було зазначено вище, є попереднє відстоювання; подальші складові схеми залежать від конкретного типу оливи, ступеня її забруднення, видів забруднюючих речовин, вимог до ступеню очищення оливи, умов регенерації на конкретно-му підприємстві. Для кожної схеми характерним є свій тип отриманого продукту очистки та побічних продуктів.

За висновками міжурядової групи експертів, існуючі європейські схеми по переробці відпрацьованих олив виробляють оливи у якості основи, а також деякі побічні продукти та відходи. Легкі фракції останніх можна використовувати як паливо, а більш важкі з добавками вуглевміщуючими сполуками - у якості компонентів при виробництві дорожніх покриттів [9, 1014, 37, 46].

На сьогодні такі підприємства працюють за п'ятьма основними технологіями (рис. 5.5–5.9):

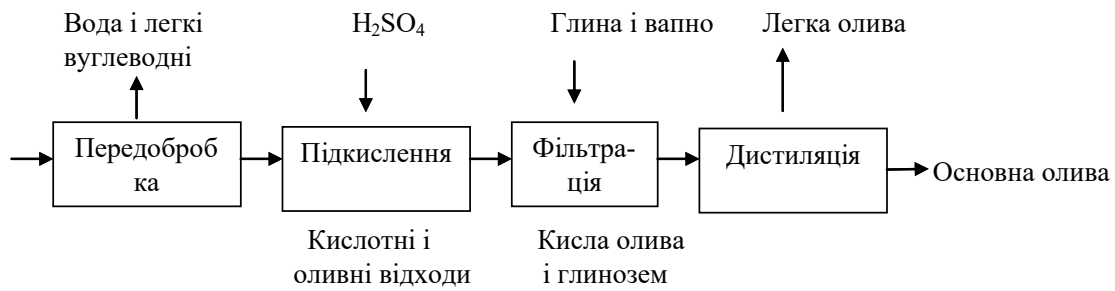


Рисунок 5.5 – Вакуумна дистиляція та обробка глиноземом

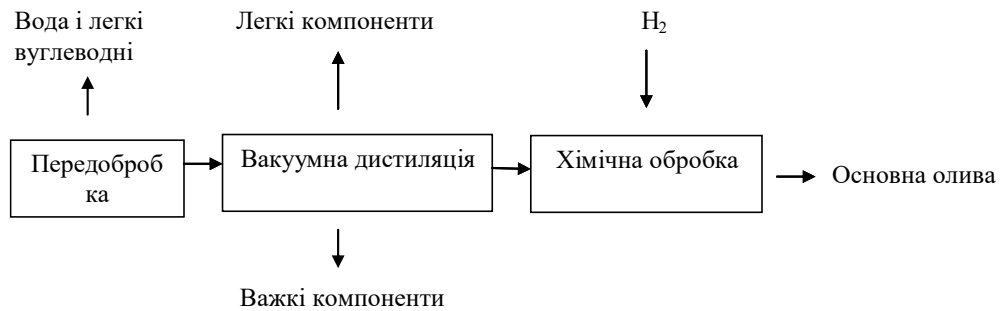


Рисунок 5.6 – Вакуумна дистиляція та хімічна обробка

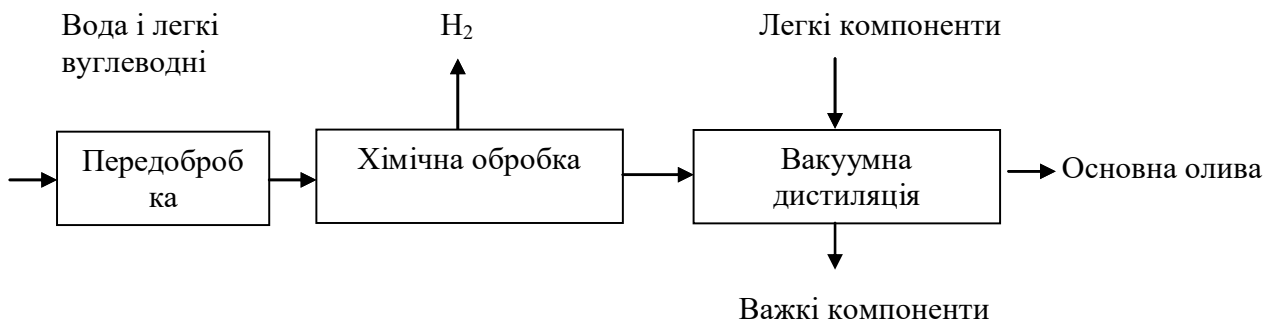


Рисунок 5.7 – Передобробка воднем та вакуумна дистиляція

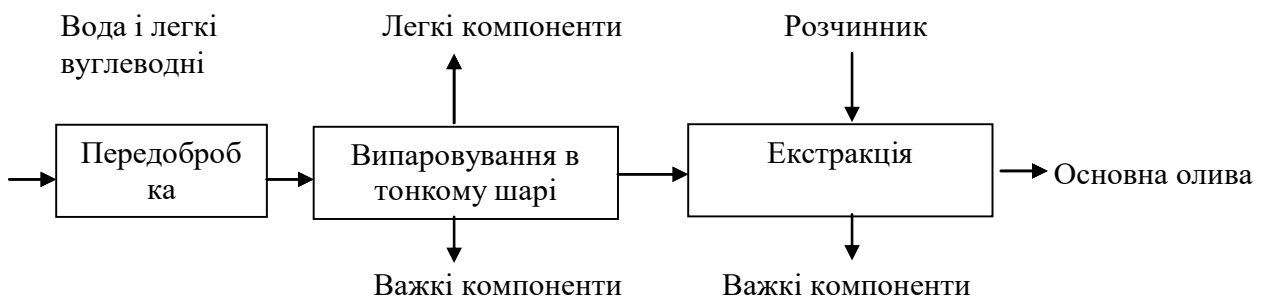


Рисунок 5.8 – Випаровування в тонкому шарі та екстракція

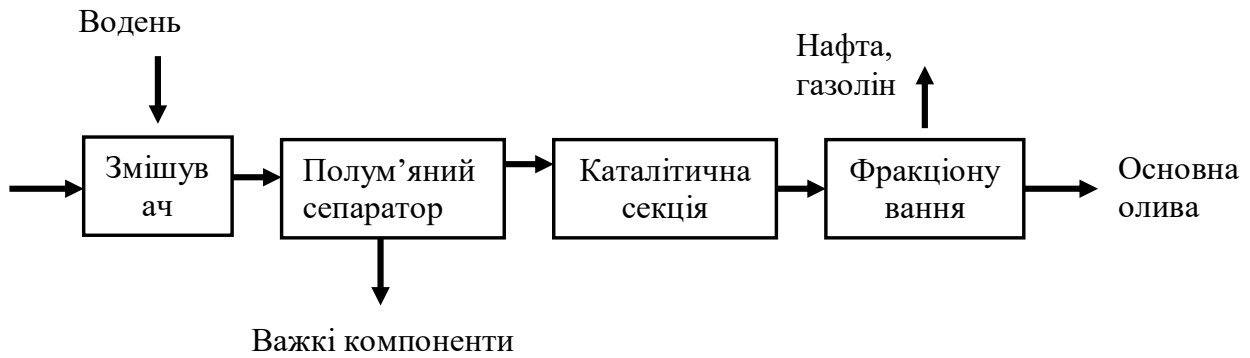


Рисунок 5.9 – Пряме контактне гідрування (UOP-DCH процес)

Окрім того, Європейська асоціація промисловості повторного очищення (Groupement Européen de l'Industrie de la Régénération; GEIR) рекомендує, щоб при регенерації олив надавалась перевага таким видам відпрацьованих олив, як машинна олива без хлору, гідравлічна олива без хлору, нехлоровані мінеральні діатермічні оливи.

Сучасні схеми та апарати для очистки відпрацьованих олив наведені нижче (рис. 5.10-5.12).



Рисунок 5.10 – Мобільна масляна станція фільтрації оливи СММ-4,0Ф підприємства GlobeCore [2]



Рисунок 5.11 – Станція для регенерації оливи та очистки нафтопродуктів СММ-0,001У виробництва GlobeCore [2]



Рисунок 5.12 – Центрифуги для очищення рідин MACFUGE 260 [3]

2. Атмосферне повітря

2.1 Аналіз методів еколого-економічного регулювання впливу залізничного транспорту на атмосферу

До основних джерел викидів на залізничному транспорті, відносяться як стаціонарні - технологічне обладнання та енергоустановки, так і пересувні джерела - двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) рухомого складу. При цьому треба зазначити, що частка впливу залізничного транспорту на атмосферу, в порівнянні з автомобільним, істотно менша, оскільки він є найбільш економічним по витраті палива на одиницю транспортної роботи. Особливістю залізничної галузі є цілодобова робота рухомого складу і виробничих об'єктів (вагонних і локомотивних депо, котельні і інших об'єктів), що обслуговують перевізний процес, та які є потенційними забруднювачами навколишнього середовища. В даний час, незважаючи на високий рівень розвитку екологічно-безпечних технологій, триває інтенсивний вплив господарської діяльності будь-якої галузі на навколишнє середовище. Результатом цього є погіршення екологічної обстановки, що формує значні еколого-економічні ризики на тлі посилення екологічних вимог та імплементації природоохоронних директив Європейського Союзу [14, 37, 40, 46].

Компонентний склад відпрацьованих газів дизельних двигунів характеризується сумішшю газів, парів, крапель рідин і дисперсних твердих частинок. Всього відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згоряння містять близько 280 сполук, більшість яких є нетоксичними. Токсичність відпрацьованих газів ДВЗ характеризується наявністю наступних компонентів: оксиди азоту NO_x , монооксид вуглецю CO , термічно недоокиснені вуглеводні CH , дисперсні тверді частинки, основним компонентом яких є сажа, а також оксиди сірки, альдегіди, продукти конденсації і полімеризації. Крім продуктів згоряння палива, у відпрацьованих газах дизелів присутні продукти згоряння мастила і речовини, що утворюються з присадок до палива і оливи.

Серед всіх споживачів палива саме ДВЗ тепловозного парку локомотивного господарства, в першу чергу, в силу специфіки своєї роботи, є головними джерелами шкідливих викидів в навколишнє середовище на залізничному транспорті. На їх частку припадає 30 % викидів CO , 42 % викидів NO_x , близько 16 % викидів SO_x і 21 % частинок сажі (в перерахунку на C). Таким чином, основна кількість викидів шкідливих речовин припадає на оксиди азоту.

Аналіз існуючих методологічних підходів до зниження негативного впливу викидів від пересувних джерел показав, що з залізничного транспорту в екологічному плані можна використовувати лише вдосконалення та оптимізацію технічних параметрів роботи об'єктів залізничного транспорту.

Водночас важелі щодо скорочення екологічних проблем можуть з'явитися у суспільства лише після об'єктивної оцінки природних ресурсів у реальних економічних показниках та їх громадській корисності. При цьому як основа для вироблення методологічних підходів щодо регулювання природоохоронної діяльності повинні виступати методи економічної оцінки власне природних ресурсів,

оцінки витрат на розробку та експлуатацію природоохоронних заходів, а також оцінки екологічної шкоди навколишньому природному середовищу та здоров'ю людей, що виникає в процесі природокористування [40].

Серед існуючих підходів до визначення економічної цінності природних ресурсів можна виділити на основі їх ринкової та рентної оцінки, на індивідуальних та замикаючих витратах, на альтернативній вартості, на загальній економічній цінності (вартості) та ін. Практично всі ці підходи базуються на оцінці *saïrag* на виявлення, вивчення, освоєння та ефективного застосування природних ресурсів у господарській діяльності з урахуванням їхнього територіального розподілу, раціонального використання та відтворення. Але атмосферне повітря як ресурс зазвичай не розглядається (відсутність кордонів, рухливість, доступність, здатність до самовідновлення тощо) і вартісної оцінки не має, тому що витрати при його споживанні практично відсутні, що зумовлює пріоритет економічної оцінки екологічної шкоди. як основний економічний підхід до організації його раціонального використання.

Особливості залізничного транспорту (стаціонарність мережі, графік руху, режимні параметри тощо) у сукупності з презумпцією його екологічної небезпеки підтверджують постійну наявність економічної шкоди, яку необхідно компенсувати.

Аналіз існуючих методологічних підходів до визначення розмірів платежів на залізничному транспорті показав, що вони не лише не враховують реальних збитків, а й не дозволяють запропонувати шляхи зниження негативного впливу на атмосферне повітря, не стимулюють природоохоронну діяльність.

Необхідно звернути увагу на необхідність створення методологічного апарату для забезпечення об'єктивності оцінки негативного впливу пересувних джерел на довкілля, зокрема адекватного визначення якісних та кількісних параметрів викидів від ДВЗ локомотивів. Поки що невідомо, в який бік зміняться на практиці сумарні абсолютні величини «екологічних відрахувань» відповідних підприємств локомотивного господарства залізниць України, чи промислових підприємств залізничного транспорту (ППЗТ), що експлуатують тепловози різного роду роботи. Мова буде іти виключно про об'єктивність кількісної оцінки, без можливих пропозицій активного впливу на технічний стан силових установок тепловозів [40, 48-49].

Варто також усвідомлювати складність такої оцінки для тепловозів: з однієї сторони це велика кількість режимів роботи силової установки з різним рівнем потужності, а з другої – кожний режим характерний різною інтенсивністю шкідливих викидів.

Для практичної демонстрації методики оцінки наведемо інформацію по трьох типах ДВЗ магістральних тепловозів: 14Д40 (тепловози серії М62), 1А5Д49 (2ТЕ116) і 10Д10 (2ТЕ10В), де всі перелічені в якості прикладу тепловози сьогодні експлуатуються.

На рис. 5.13–5.16 представлені графіки залежностей величини питомої кількості викидів на одиницю виконаної роботи [г/(кВт-год)] в відпрацьованих газах дизелів магістральних тепловозів. Для дизелів маневрових тепловозів

(наприклад, ЧМЕЗ, ТЕМ2 і інші) графіки будуть мати принципово такий же вигляд. Представлені графіки стосуються викидів вуглецю, окису вуглецю, окису азоту і двоокису азоту.

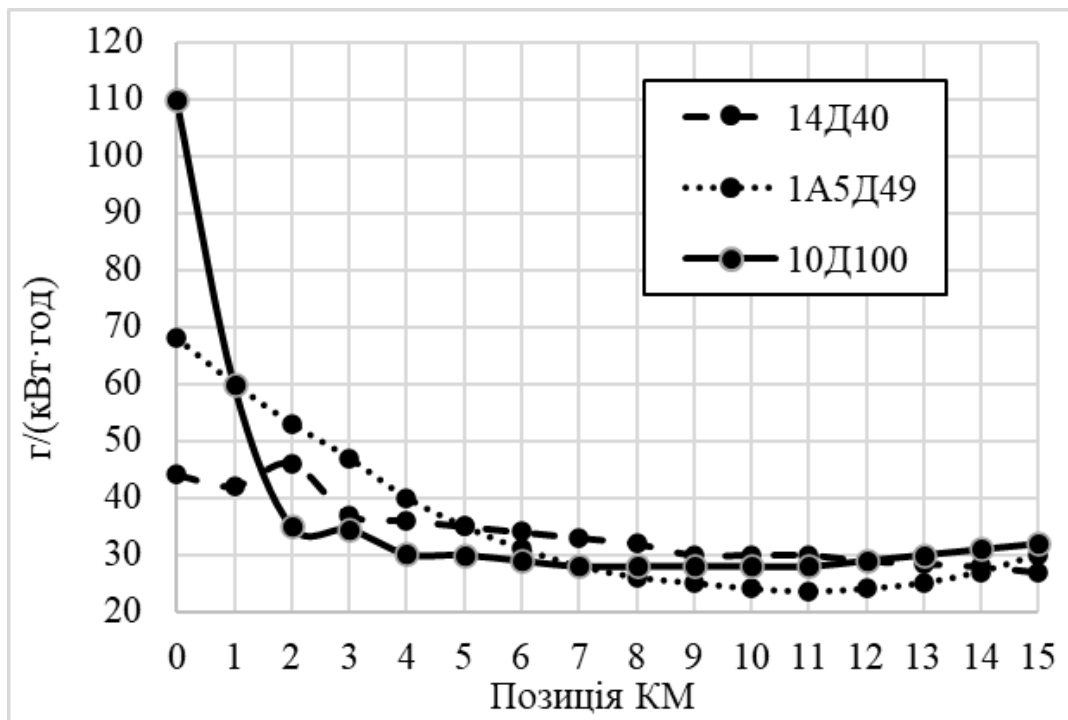


Рисунок 5.13 – Питома кількість вуглецю (С) в відпрацьованих газах

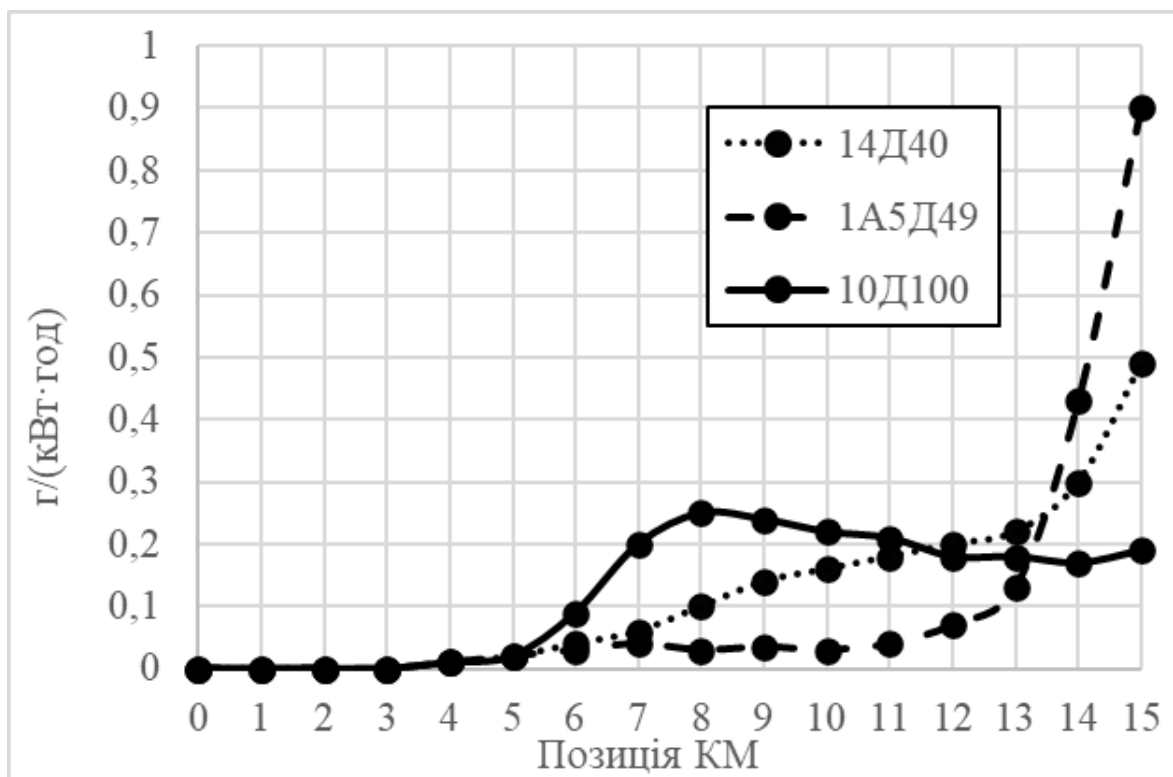


Рисунок 5.14 – Питома кількість окису вуглецю (СО) в відпрацьованих газах

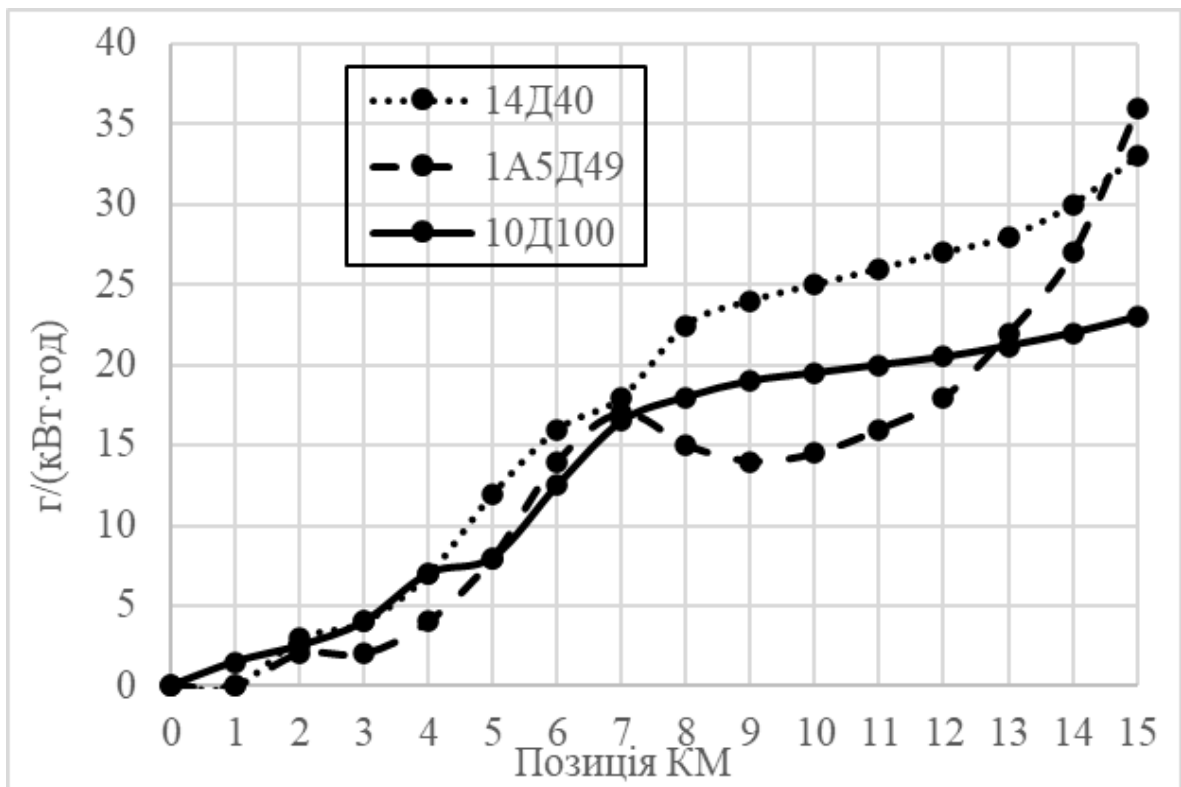


Рисунок 5.15 – Питома кількість окису азоту (NO) в відпрацьованих газах

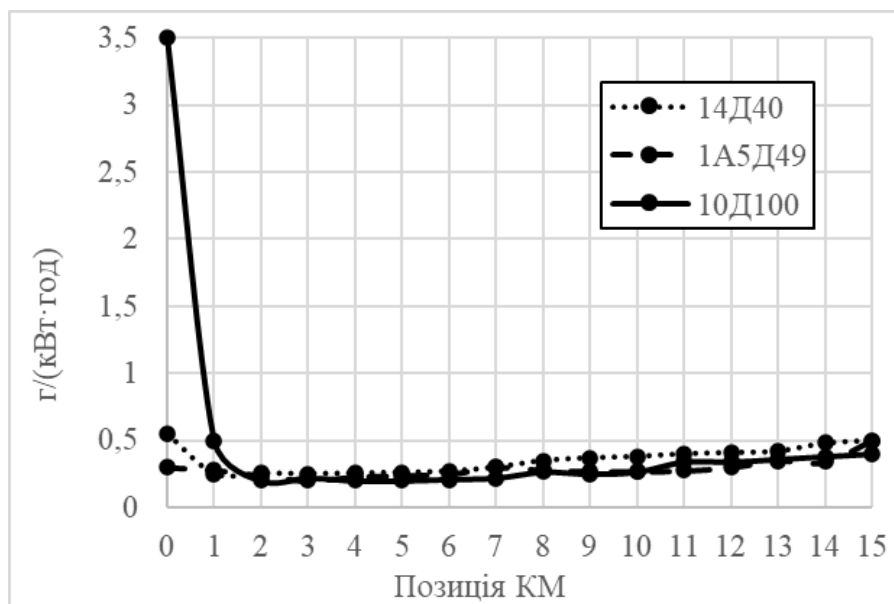


Рисунок 5.16 – Питома кількість двоокису азоту (NO₂) в відпрацьованих газах

Кількісна розрахункова оцінка викидів може бути виконана і для інших типів ДВЗ, але отримання залежностей типу (рис. 5.13–5.16) вимагає попередніх досліджень на реостатному стенді локомотивного депо (ТРЗ) з задіянням відповідної контрольної апаратури.

Сумарна маса шкідливих викидів (кг) конкретної *j*-ої речовини може бути визначена за формулою:

$$M_{j\Sigma} = 10^{-3} \cdot \sum_0^k m_i \cdot N_i \cdot \tau_i, \quad (5.8)$$

де $M_{j\Sigma}$ – сумарна маса шкідливих викидів конкретної j -ї речовини за контрольований бюджет робочого часу, год.;

i – номер позиції КМ;

k – кількість позицій КМ підконтрольного тепловоза; для магістральних – $k=15$; для маневрових – $k=8$; позиція «0» відповідає режиму холостого ходу;

m_i – питома кількість (інтенсивність викиду) шкідливої речовини на i -й позиції КМ, г/(кВт-год) ;

N_i – потужність дизель-генератора (ЛЕУ) тепловоза на i -й позиції КМ, кВт;

τ_i – фізичний час (згідно з показаннями хронометра) роботи дизеля на i -й позиції КМ, год.

Зазначимо, що в формулі і застосовані вихідні дані двох видів: технічні і статистичні. Вихідні дані технічного характеру можна обрати з паспортних характеристик тепловоза (N_i) конкретної серії або отримати в ході цільової паспортизації (m_i) конкретного дизеля (за номером) або дизелів тепловозного парку (за серією) в ході випробувань на реостатному стенді.

Вихідні дані статистичного характеру (τ_i) можливо отримати реально - шляхом індивідуального встановлення на тепловозах контрольних реєстраційних хронометрів на постійній чи тимчасовій основі [35].

2.2 Сучасний європейський досвід у сфері екологічного контролю експлуатаційного процесу

На частку дизельних залізничних складів припадає менше 2,5 % викидів оксиду азоту та 4,5 % викидів завислих частинок у сукупному обсязі викидів їхнього транспортного сектору Європи. Європейські залізниці поставили завдання скорочення своїх сукупних викидів NO_x та ВЧ на 40 % до 2030 року.

За період з 2010 по 2020 рік викиди NO_x та ВЧ із дизельних залізничних складів скоротилися вже приблизно на 35 %. Згідно з розрахунками, проведеними консорціумом "CleanER-D", є потенціал для подальшого значного скорочення викидів NO_x більш ніж на 20 %) і викидів ВЧ більш ніж на 25 % у період з 2015 по 2025 рік.

Причини такого суттєвого покращення майбутніх показників у галузі викидів полягають у наступному:

- a. впровадження більш екологічних технологій, що застосовуються в двигунах, та встановлення граничних значень (ТВТ, етап ШВ) для європейського парку транспортних засобів;
- b. скорочення парку дизельних локомотивів (статистичні дані МСЗ показують, що значна частка дизельних локомотивів у Європі виведена з активної експлуатації) і скорочено пробіг транспортних засобів застарілих конструкцій з великим терміном експлуатації;

- c. більш ефективна експлуатація дизельних локомотивів та дизельних складів (ДС);
- d. подальша електрифікація залізничних ліній (наприклад, у коридорах ТЕС-Т Європейського Союзу).

Історичні передумови контролю і скорочення викидів від ДВЗ у Європі відбувались поетапно наступним чином. Сьогодні, вимоги до дизельних двигунів для залізниць регламентуються директивою ЄС 97/68. Друга директива, яка визначає норми рівнів Stage III та Stage IV щодо викидів для двигунів, що встановлюються на технічні засоби залізничного транспорту, була прийнята ще в 2004 р. Третя директива, прийнята в 2010р., обумовлює процедури випробувань двигунів на відповідність Stage IV. Дані норми застосовуються як до двигунів тягових одиниць нової розробки, так і до двигунів, які замінюють раніше встановлені на експлуатованих локомотивах, моторвагонних поїздах та суднах, що використовуються на внутрішніх водних коліях [40].

Норми рівня Stage III, поділені на Stage IIIA та Stage IIIB запроваджувалися поетапно. Для двигунів в діапазоні потужності від 37 до 560кВт норми Stage IIIA діють з 2006 р., норми Stage IIIB - з 2011 р. Для двигунів потужністю більше 560кВт, які звичайні для більшості локомотивів і деяких типів дизель-поїздів з S2, а норми Stage IIIB з 2012 р. Норми рівня Stage IV, які поширюються на двигуни всіх категорій введено у 2014 р.

Фактично в ЄС існують дві дати введення в дію норм на викиди шкідливих речовин для двигунів, які використовуються поза автомобільним транспортом. Перша дата (type approval) встановлює термін, після якого всі двигуни нової, що отримала схвалення розробки, повинні відповідати прийнятим нормам. Друга (market placement) задає термін, після якого все нові двигуни, що з'являються на ринку, повинні відповідати прийнятим нормам.

Зазвичай розрив між двома датами, важливими як постачальників, так споживачів, наближається до року.

За даними статистичних джерел ЄС, на дизельний рухомий склад усіх видів транспорту, крім автомобільного, припадає чверть викидів оксиду азоту та третина твердих частинок діаметром менше 2,5 мкм. Європейські органи мають намір запровадити мінімальні нормативи. За оцінками залізничного сектора, ці норми надто жорсткі, а тимчасові рамки реорганізації виробництва обмежені.

В Америці технічні вимоги ЕРА поширюються на локомотиви з двигунами потужністю понад 750 кВт. Виділяються дві групи: маневрові (до 2300 л. с.) та магістральні (2300 л. с. і більше) тепловози. Норми рівня Tier 3 для нових маневрових тепловозів і всіх магістральних тепловозів. Локомотиви цих двох груп вимагають випробувань різних видів, що відбивають різні вимоги щодо їх експлуатації. Норми Tier 4 для обох груп вступили в 2015 р. Ці норми поширюються на певний термін експлуатації локомотива незалежно від того, коли пройшла перша модернізація.

У Німеччині частка забруднень та шкідливих викидів, що припадає на тепловозну тягу, у загальних розмірах викидів відносно мала - 2,1 % за окислами азоту та 0,4 % за частинками сажі. Однак на окремих лініях величина питомих

викидів тепловозних дизелів у розрахунку на 1 км на рік часто у кілька разів вища, ніж від автомобільних перевезень. Європейськими директивами щодо якості повітря (RL 96/62 EG), встановлені єдині для всієї Європи нормативи щодо вимірювання та оцінки складу та обсягів шкідливих викидів.

Нещодавно було внесено зміни до європейських директив щодо якості повітря RL 97/68 EG; закріплені в них обов'язкові граничні значення шкідливих викидів стосовно нових залізничних дизелів є відповідним орієнтиром для виробників рухомого складу і побічно стосуються власників, що експлуатують його.

Завдання DB із захисту клімату. Законодавчі норми щодо зниження шкідливих викидів не можна розглядати незалежно одна від одної, оскільки зміни величини викидів оксидів азоту, що утворюються при згорянні палива, знаходяться у зворотній залежності від вмісту CO₂ та ряду інших компонентів у вихлопних газах.

Норма обов'язкового зниження питомих викидів CO₂ у виробничих процесах на DB – головне стратегічне завдання концерну. Ці викиди до 2030 р. мають бути знижені на 20 % порівняно з тими, що мали місце у 2020 р. У зв'язку з необхідністю зниження викидів частинок сажі та оксидів азоту зазначена раніше зворотна залежність обумовлює виникнення класичного конфлікту цілей, який може бути вирішений лише шляхом виконання відповідних взаємно узгоджених технічних та експлуатаційних заходів.

Отже, залізниці повинні докладати значних зусиль, щоб у майбутньому в секторі перевезень неелектрифікованими лініями відповідати зростаючим екологічним вимогам [1, 7, 8].

2.3 Специфіка експлуатації тепловозних двигунів

Робота різноманітних технічних засобів залізничного транспорту супроводжується викидами шкідливих речовин. Однак порівняння залізниць з іншими видами транспорту показує, що викиди оксидів азоту та сажі мінімальні (рис.5.17-5.19). Це вирішальною мірою обумовлено незначними викидами при електричній тязі, на якій виконують більше 90 % всього обсягу перевезень.

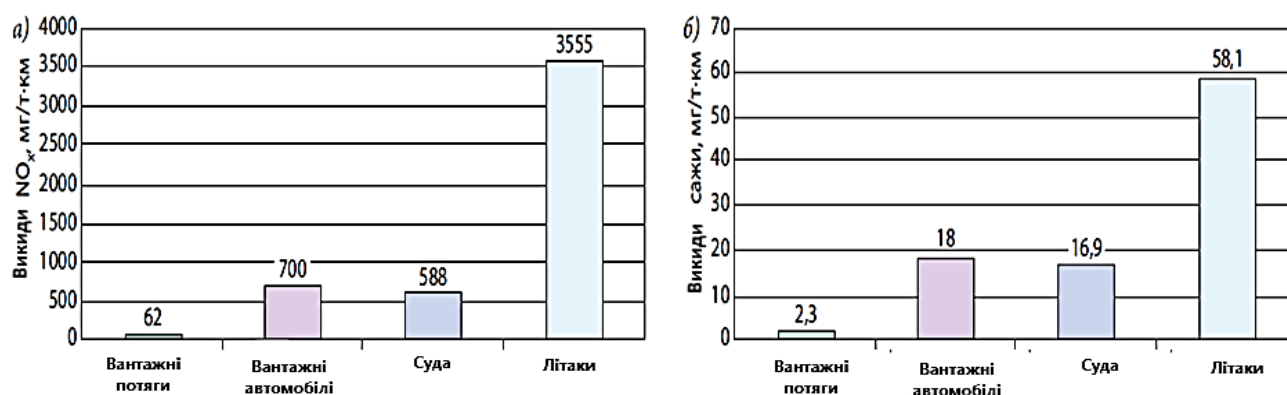


Рисунок 5.17 – Викиди оксидів азоту (а) та сажі (б) від вантажного транспорту в Німеччині.

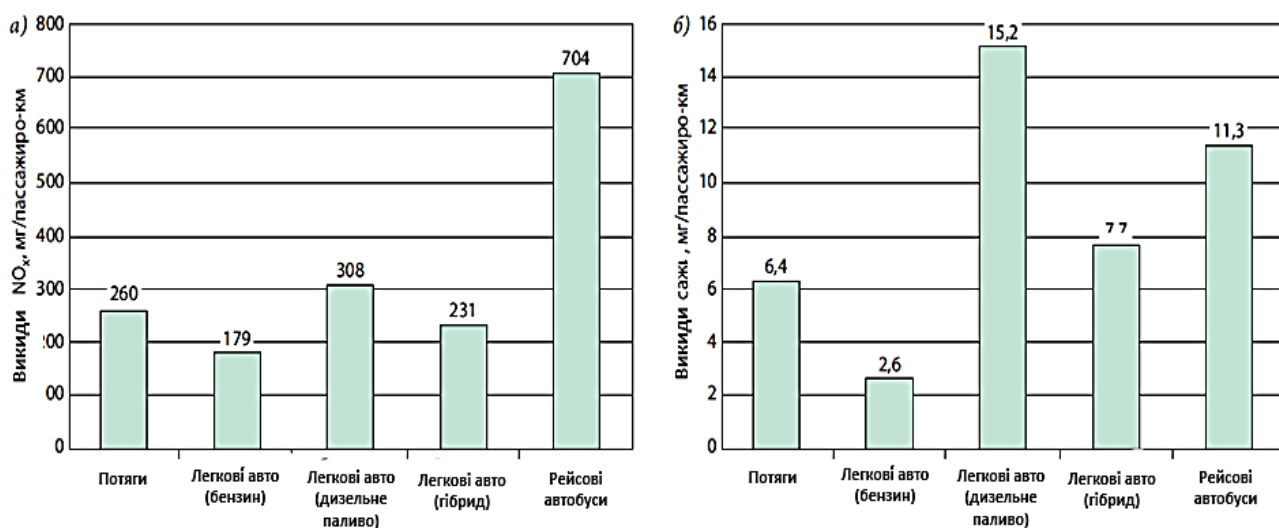


Рисунок 5.18 – Викиди оксидів азоту (а) та сажі (б) від пасажирського транспорту приміського сполучення в Німеччині

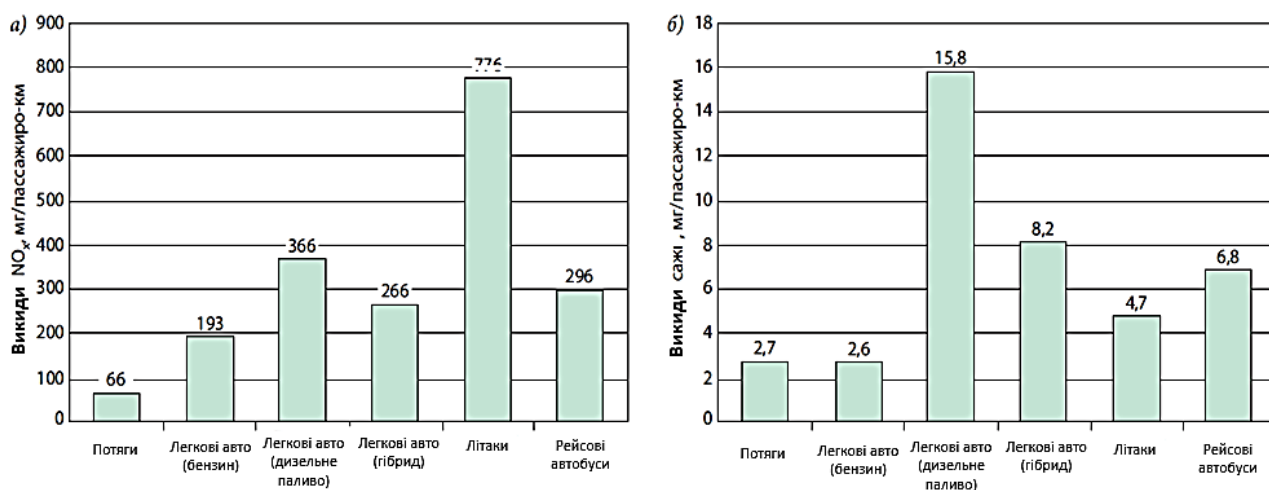


Рисунок 5.19 – Викиди оксидів азоту (а) та сажі (б) від пасажирського транспорту далекого сполучення в Німеччині

За абсолютними значеннями викиди оксидів азоту і сажі постійно знижуються. Стійке тривале зниження шкідливих викидів пояснюється як зменшенням витрати дизельного палива внаслідок зниження обсягу перевезень, що виконуються поїздами на тепловозній тязі (на 65 % порівняно з 1990 р.), і застосуванням тепловозів і дизель-поїздів нового покоління з сучасними двигунами. Тим не менш, питомі значення шкідливих викидів тепловозної тяги помітно перевищують цей показник електричної тяги.

Ситуацію зі шкідливими викидами при тепловозній тязі характеризують дані, наведені на рис. 5.20.

Загалом тепловозна тяга лише обмежено конкурентоспроможна по відношенню до інших видів транспорту, та її економічні переваги в порівнянні, наприклад, з автомобільним транспортом полягають тільки в меншій витраті енергії та знижених викидах CO₂. За питомими показниками на 1 км пробігу дизельна тяга

програє електричній. У той же час окремі дизель-поїзди з сучасними дизелями в регіональних перевезеннях показують цілком прийнятні результати порівняно з видами транспорту, що конкурують.

Наприклад, розрахунки викидів маси забруднюючих речовин виконані для кожного типу тепловозів (ЧМЕЗ та 2ТЕ10) та наведено до однієї години експлуатації тепловоза з урахуванням частки відносного часу його роботи на кожній з позицій контролера є досить різними [11, 35].

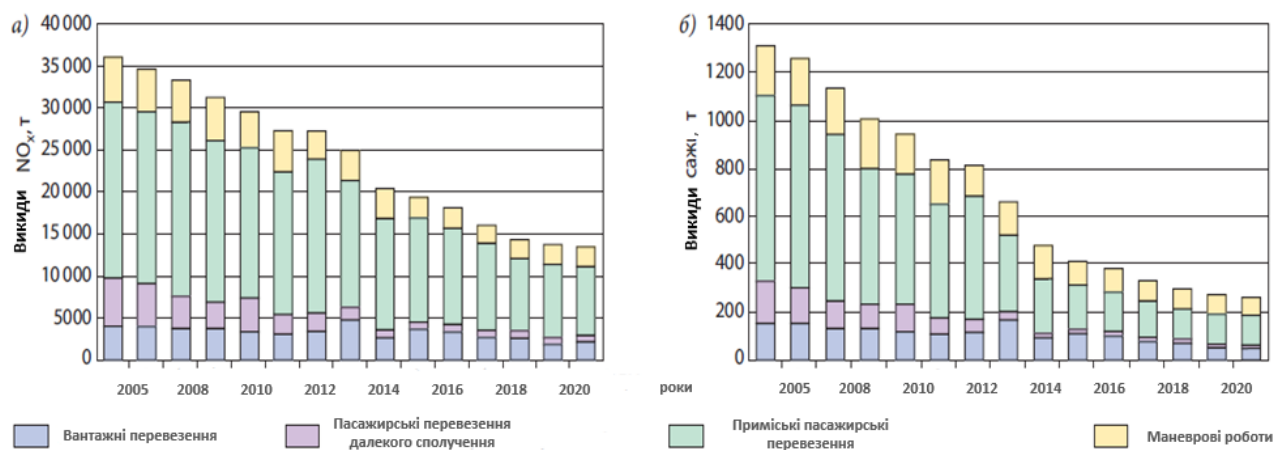


Рисунок 5.20 – Динаміка шкідливих викидів від дизельної тяги на ДВ (Німеччина) за 15 років.

а - оксиди азоту; б – сажа

Аналіз результатів розрахунків показує, що для тепловоза ЧМЕЗ найбільші викиди спостерігаються на третій позиції контролера (NO_x – 3,25 кг/год, СО – 3,23 кг/год, С – 0,15 кг/год). Для тепловоза 2ТЕ10 найбільші викиди відповідають одинадцятій позиції контролера (NO_x – 4,1 кг/год, СО - 1,7 кг/год, С_nН_m – 0,5 кг/год, С – 0,15 кг/год). Для тепловоза ТЕП70 0087 найбільші викиди спостерігаються також на одинадцятій позиції контролера (NO_x – 2,2 кг/год, СО – 1,23 кг/год, С_nН_m – 0,36 кг/год та С – 0,11 кг/год).

Дані результати становлять значний інтерес, оскільки дозволяють отримати дані щодо максимально можливих значень викидів забруднюючих речовин для всього тепловозного парку мережі залізниць України. За наявності фактичних даних про час роботи окремих тепловозів за звітний період можна розрахувати дійсні маси викидів забруднюючих речовин.

Поруч з цим, основним фактором, що визначає економічну ефективність будь-якого виду транспорту, є повнота використання його технічних можливостей, раціональне використання та економічне витрачання енергетичних ресурсів.

Результати досліджень деяких науковців дозволяють припустити, що визначальним фактором технічного стану елементів циліндропоршневої групи та турбокомпресора дизелів в експлуатації є не лише ступінь завантаження, а й тривалість роботи на режимах, несприятливих для дизеля за коефіцієнтом надлишку повітря, температури випускних газів, димності.

За опублікованими даними для магістральних тепловозів відносна тривалість перехідних процесів у дизелі становить від 5 до 15 %, для маневрових – від

20 % і більше. Такий розподіл часу роботи на режимах, що не встановилися, обумовлює суттєвий вплив перехідних процесів на експлуатаційну ефективність тепловоза в цілому [11, 35].

Сьогодні достатньо поширеним методом підвищення якості робочого процесу в дизелі в невстановлених режимах є пошук шляхів зниження енергоємності накопичувача енергії.

Відомі методи управління силовим устаткуванням яких на базі досліджень роботи дизель-генератора та тягової передачі з накопичувачем енергії в силовому ланцюзі сформульовані математичні моделі роботи електроприводу тепловоза.

Реалізація перехідного процесу дозволяє істотно поліпшити екологічну ефективність силової установки і виключити термічні перевантаження деталей циліндропоршневої групи на режимах роботи, що не встановилися. У разі використання накопичувача великої ємності (понад 3700 кДж) значно скорочується тривалість перехідного процесу і покращуються динамічні тягові якості тепловоза.

Розміщення накопичувача зазначеної вище ємності при проектуванні нового локомотива не становить суттєвих труднощів. У той же час використання такого накопичувача для підвищення ефективності роботи існуючого тягового рухомого складу є скрутним.

Для магістральних локомотивів, де час перехідного процесу може становити 40-60 секунд, ситуація може бути вирішена за допомогою коригування принципу управління локомотивом. Сутність цього процесу полягає в тому, що між послідовними перемиканнями позицій з 1-ї по 15-ю потрібно здійснювати затримку зміни, протягом якої відбуватиметься заряд накопичувача.

Для оптимізації оцінки процесу, що відбуваються в електроприводі, можна розглядали в наступних припущеннях:

1. Перетворювач постійного струму ППР є безінерційним і дозволяє підтримувати вихідну напругу постійною при зміні напруги (заряду) накопичувача за допомогою системи автоматичного керування;

2. Напруга на виході тягового випрямляча ТБ також підтримується постійною за допомогою системи автоматичного керування збудженням генератора;

3. У ланцюзі перетворювача ТБ та ППР введені додаткові опори величиною 0,001 Ом;

4. Вплив вихрових струмів та нелінійності магнітного ланцюга на електричні параметри можна не враховувати.

Протягом усього перехідного процесу потужність тяги тепловоза задається системою управління наступною функціональною залежністю:

– при постійній кутовій швидкості колінчастого валу дизеля:

$$P_{\text{на тягу}} = f(P_{\text{в}}, \omega_{\text{д}}), \quad (5.9)$$

– на етапі збільшення кутової швидкості колінчастого валу дизеля:

$$P_{\text{на тягу}} = f(P_{\text{в}}, \omega_{\text{д}}, \frac{d\omega_{\text{д}}}{dt}), \quad (5.10)$$

Застосування спеціального способу керування силовою установкою дозволяє скоротити кількість необхідної енергії – з 2000...3000 кДж до 200...300 кДж. Деякі результати розрахунків наведено на рис. 5.21.

Розрахунок прискорення поїзда можна проводити за методикою, наведеною у «Правилах тягових розрахунків для поїзної роботи».

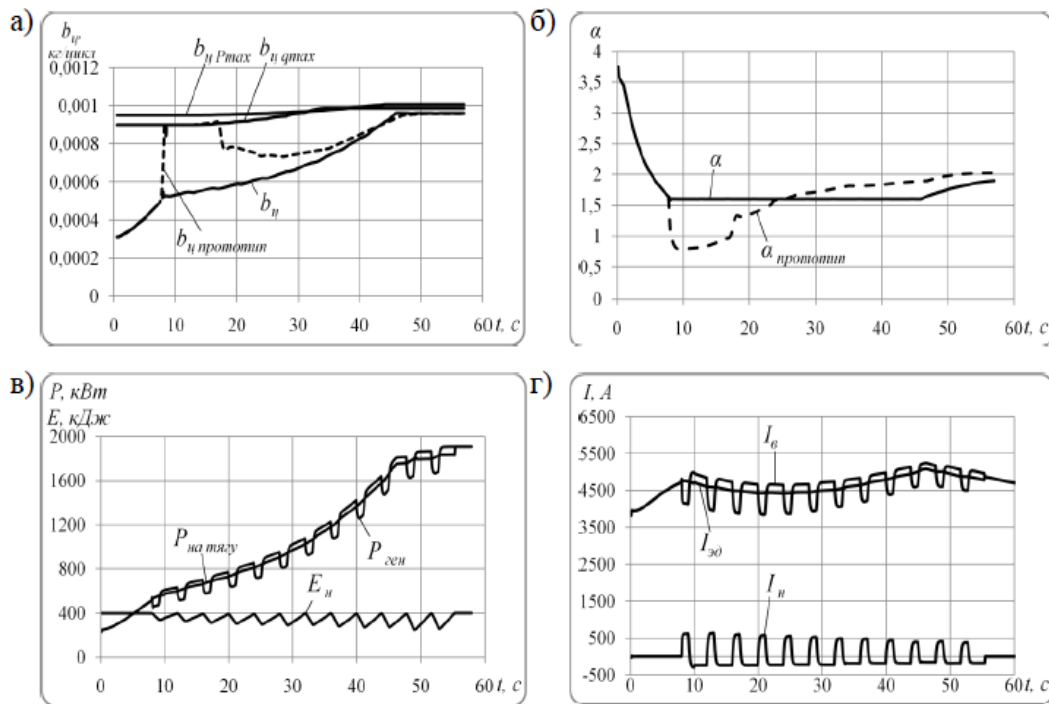


Рисунок 5.21 – Зміна показників роботи силової установки тепловоза в перехідному процесі:

а) подачі палива; б) коефіцієнта надлишку повітря; в) потужності на тягу, потужності генератора та заряду накопичувача енергії; г) струму генератора, електродвигунів та накопичувача

Отже, з метою оптимізації роботи двигуна сьогодні існують спеціальні додатки з елементами об'єктно-орієнтованого програмування, за допомогою яких можна проводити моделювання експлуатаційних режимів роботи тепловоза без попередньо закладеного алгоритму ведення поїзда шляхом безпосередньої зміни керуючих сигналів у процесі руху, орієнтуючись за показаннями віртуальних приладів та віртуального профілю [1, 7-11, 35, 38-40].

2.4 Процеси спалюванні палива та перетворення шкідливих викидів у атмосферному повітрі

Шкідливі викиди та природні речовини в атмосфері піддаються складним процесам перетворення, взаємодії, вимивання тощо. Ці процеси різні для

завислих частинок і газоподібних домішок. Час знаходження зважених частин в атмосфері залежить від їх фізико-хімічних властивостей, метеорологічних параметрів та деяких інших факторів, насамперед від висоти викиду частинок в атмосферу та їх розмірів.

Основними шляхами виведення аерозолів з атмосфери (самоочищення) є осадження частинок під впливом сил тяжіння, осадження їх на рослини та водойми, а також вимивання дощем [35].

Частинки діаметром від 4 до 10 мкм піднімаються з димом на висоту понад 1 км та можуть переміщатися потоком повітря на сотні кілометрів. Частинки від 1 до 4 мкм дуже повільно осідають, досягаючи земної поверхні протягом року.

Частки менше 1 мкм поширюються подібно до молекул газу.

Питання про термін існування та перетворення газоподібних забруднень атмосфери вивчено ще недостатньо. Наприклад, діоксид сірки зберігається, за даними різних дослідників, від кількох годин за кілька днів.

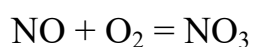
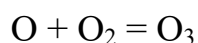
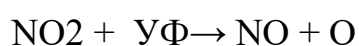
Діоксид сірки в атмосфері поступово окислюється до триоксиду сірки, який взаємодіючи з вологою повітря утворює сірчану кислоту. На швидкість процесу окиснення впливає сонячне світло і дрібні частки пилу, що каталітично прискорюють процес окиснення. На процес окиснення впливає також вологість повітря. Зі збільшенням вологості процес окиснення сірчистого ангідриду прискорюється.

Встановлено, що в атмосфері відбувається реакція фотодисоціації діоксиду азоту NO_2 на NO і O , при цьому поглинається випромінювання ультрафіолетової області сонячного спектру, що відіграє важливу роль в атмосферних фотохімічних процесах. Енергія, необхідна для розриву зв'язку між азотом та киснем, становить близько 300 кДж/моль.

Наслідком дисоціації NO є багато вторинних реакцій. Спільне окислення вуглеводнів і оксидів азоту призводить до утворення сполук, які в результаті подальших реакцій утворюють так звані пероксиацилнітрати (ПАН), що володіють сильною токсичною дією. Речовини групи ПАН можна виявити у забрудненому міському повітрі під час токсичного туману (смогу).

Серед вторинних фотохімічних реакцій важливе значення має взаємодія молекулярного кисню та оксиду азоту NO з атомарним киснем, у результаті утворюються озон O_3 та діоксид азоту.

Фотохімічні реакції з діоксидом азоту протікають у таких напрямках:



В результаті перерахованих реакцій відбувається поступове доокислення монооксиду NO до діоксиду NO_2 , у міру видалення димового факела від димової труби. На виході з димової труби 85...90 % всіх оксидів азоту представляє NO .

Підсумкове перетворення NO в NO₂ призводить до посилення негативного впливу продуктів згоряння на природу та живі організми, оскільки останній більш токсичний.

Встановлено, що основною причиною фотохімічних перетворень у приземному шарі атмосфери міст є високий рівень забруднення повітря органічними речовинами (переважно нафтового походження) та оксидами азоту.

Сумарна концентрація окислювачів, які називаються ще оксидантами, що утворюються в атмосферному повітрі в результаті фотохімічних перетворень, у ряді випадків може бути використана як гігієнічний показник інтенсивності перебігу цих реакцій. Концентрації оксидантів схильні до великих коливань, але спостерігається певна закономірність.

При високих концентраціях NO та NO₂ вони частково окислюються під впливом сонячної радіації до вищого оксиду азоту N₂O₅, який взаємодіючи з вологою повітря утворює азотну кислоту.

Сполуки ванадію, аерозолі бенз(а)пірена, поширюючись на атмосфері разом із пилом, дощем чи снігом, осідають на ґрунт та водойми.

Майже всі речовини, що викидаються, не є сторонніми для навколишньої природи та беруть участь у кругообігу речовин між атмосферою, літосферою та гідросферою. Так, в атмосфері Землі міститься близько 2000 млрд. т вуглецю у вигляді вуглекислого газу CO₂. При цьому близько 100 млрд. т/рік перебуває у стані безперервного кругообігу між атмосферою, сушею та морем. Таким чином, загальні виділення CO₂ в результаті людської діяльності, що становлять нині приблизно 15 млрд. т на рік, не призведуть до значних змін, оскільки невелике збільшення CO₂ у повітрі компенсує здатність рослин та водоростей поглинати вуглекислий газ. Однак подальше збільшення викидів CO₂ може вплинути на клімат планети завдяки так званому парниковому ефекту. Парниковий ефект для Землі – це підвищення середньої температури планети завдяки тому, що вуглекислий газ пропускає теплове випромінювання Сонця і водночас є теплозахисним екраном зворотного потоку тепла.

Наявність оксидів сірки та азоту в повітрі на віддалі від джерел викиду в сотні разів менше допустимих концентрацій. Пояснюється це тим, що час перебування у атмосфері більшості забруднюючих компонентів вбирається у кількох діб.

Найбільше значення для тваринного світу має кисень повітря. У процесі дихання тварин та горіння палива зменшується його концентрація в атмосфері, яка відновлюється рослинним світом суші та океану.

Відчутних змін концентрації кисню у атмосфері немає. Однак це зовсім не означає, що проблема у глобальному масштабі вичерпана, оскільки одночасно з антропогенним використанням кисню у світі відбуваються й інші процеси, що негативно впливають на відтворення кисню.

Азотовмісні сполуки, що входять до складу рідких та твердих палив, є джерелом утворення паливних оксидів азоту. Зважаючи на те, що енергія дисоціації зв'язків N-N в 2-4 рази перевищує енергію дисоціації зв'язків C-N і N-H, азотовмісні сполуки, що входять до складу палива, легше перетворюються на NO, ніж

молекулярний азот повітря. Перетворення азоту палива на оксиди азоту відбувається за наявності в зоні реакції достатньої кількості кисню вже при температурах 250...300°C.

Особливістю утворення паливних NO_x є наявність «конкуруючих» реакцій: проміжні радикали (аміни NH_i і ціаніди CN_i), що утворюються при виході летких, при надлишку окислювачів (O, OH) переходять в NO, а при недолику, тобто у середовищі, збагаченому паливом, утворюють міцну молекулу N_2 .

При горінні твердих і рідких палив азоту органічні нітросполуки, присутні в паливі, ймовірно, зазнають деяке термічне розкладання, перш ніж потрапити в зону горіння. Тому попередниками утворення NO повинні бути азотовмісні сполуки з малою молекулярною масою, наприклад, NH_3 , HCN, CN. Ось чому у разі спалювання твердих та рідких палив у потоці повітря утворення паливних оксидів азоту протікає досить швидко - в основному на стадії вигорання летких, яка завершується на початковій ділянці факела.

Коефіцієнт перетворення (або ступінь конверсії) азотовмісних компонентів палива на оксиди азоту змінюється в залежності від вмісту зв'язаного азоту палива NP. При дуже низькому вмісті NP має місце майже повна конверсія NO.

Експериментальні дослідження виявили, що утворення діоксиду азоту відбувається у двох зонах: передполум'яної та післяполум'яної. У першій зоні NO_2 , що утворився, повністю розкладається. У той же час швидке перемішування гарячих і холодних областей у турбулентному полум'ї може призвести до швидкого заморожування NO_2 , що є причиною появи великих концентрацій діоксиду азоту в холодних зонах потоку.

Емісія NO_2 в післяполум'яній зоні відбувається у верхній частині топки і в горизонтальному газоході (за T 900...1000°C) і за певних умов також може досягати помітної величини.

Геміоксид азоту N_2O , що утворюється при спалюванні палив, є, мабуть, короткочасною проміжною речовиною. Геміоксид азоту N_2O практично відсутній у продуктах згоряння [35, 40].

2.5 Методи визначення валових викидів при спалюванні палива

Методи розрахунків валових викидів використовуються як база для моделювання параметрів експлуатаційного процесу та напрямків екологізації роботи двигунів. До основних завдань екологізації - зниження токсичності та димності дизелів входять розробки засобів та методів регулювання, діагностування та випробувань паливних насосів високого тиску та двигунів внутрішнього згоряння в умовах експлуатації, що відповідає пріоритетному напрямку «Екологічно чиста енергетика та енергозберігаючі технології».

Широке використання режимів малих навантажень, самотійного і примусового холостого ходу є причиною підвищеного викиду в атмосферу продуктів неповного згоряння. Робота дизеля в режимах холостого ходу характеризується збільшенням викидів оксиду вуглецю та вуглеводнів та зменшенням викидів оксидів азоту. Значне збільшення названих токсичних компонентів спостерігається

під час роботи дизеля з навантаженнями, близькими до повним. У дослідженнях щодо впливу режимів роботи на склад відпрацьованих газів дизелів отримано різні результати. У деяких роботах зазначається, що у дизелях з турбонаддувом вміст оксиду вуглецю та сажі у відпрацьованих газах у перехідному режимі у 8...10 разів вище, а вміст оксидів азоту на 25...30 % нижче порівняно з роботою на встановлених режимах. Для вихрекамерних дизелів без наддуву вміст продуктів неповного згоряння в перехідних режимах відрізняється від тих, що встановилися значно менше, хоча різниця досягає 40...60 %.

Загальна маса шкідливих речовин, що виділяються під час спалювання палива транспортом, залежить від режиму роботи двигуна автомобіля або тепловоза протягом рейсу. Розглядаючи роботу автомобіля або тепловоза, можна виділити три характерні режими роботи двигуна:

холостий хід:

- а) для автомобіля та тепловоза – при завантаженні, очікуванні та на спуску;
- б) для дизель-тролейвозу та тягового агрегату – те саме, а також під час руху під контактною мережею;

повне використання потужності двигуна:

- а) для автомобіля та тепловоза – при русі на підйом та при русі навантаженого поїзда горизонтальними ділянками траси;
- б) для дизель-тролейвозу та тягового агрегату – при русі завантаженого поїзда по горизонтальних ділянках у вибої та на відвалі;

часткове (приблизно 50-відсоткове) використання потужності двигуна:

- при русі всіх видів локомотивів горизонтальними ділянками траси в порожньому стані і при розвантаженні.

Маса річного викиду шкідливих речовин від спалювання палива у двигунах автомобілів або тепловозів розраховується за формулою 2.3, в т/рік:

$$m_{ат} = \sum_{i=1}^a m_{ати}, \quad (5.11)$$

де a – загальна кількість домішок, що викидаються в атмосферу;

i – види домішок, що викидаються джерелом ($i = 1...n$);

$m_{ати}$ – маса i -ї шкідливої речовини, що виділяється при роботі автомобіля (тепловозу), т/рік:

$$m_{ати} = m_{ik} \cdot n_{год} \cdot N_{ap} \cdot k_t \cdot k_l \cdot 10^{-3}, \quad (5.12)$$

де m_{ik} – маса i -го шкідливої речовини, що виділяється двигуном при роботі на різних режимах, кг/добу;

k – режим роботи двигуна;

$n_{год}$ – число днів роботи машини на рік;

N_{ap} – кількість працюючих автосамоскидів (локомотивоскладів);

- k_t – коефіцієнт впливу кліматичних умов роботи: для автомобілів, приймається рівним 1; для тепловозів, згідно приймається рівним 0,8 на північ від 60° північної широти, для інших районів - рівним 1;
- k_1 – коефіцієнт, що залежить від віку та технічного стану парку; для тепловозів та автосамоскидів з терміном експлуатації менше 2 років приймається рівним 1, при терміні експлуатації більше 2 років - 1,2.

Маса і-го шкідливої речовини розраховується за формулою 2.5, в кг/добу:

$$m_{ik} = m_{ik} \sum_{k=1}^3 q_{ik} \cdot t_k, \quad (5.13)$$

- де q_{ik} – питомий викид і-го шкідливої речовини при роботі двигуна на k -му режимі для двигунів тепловозів та тягових агрегатів та для дизельних двигунів;
- t_k – час роботи двигуна на k -му режимі на добу, год., визначається виходячи з часу роботи двигуна в даному режимі протягом рейсу та сумарного часу роботи машини на добу.

Максимальний з разових викидів і-го шкідливої речовини з відпрацьованими газами автомобілів тепловозів розраховується за формулою 2,6, в г/с:

$$m_{атп} = m_{ik} \cdot \frac{N_{ap}}{24 \cdot 3,6}, \quad (5.14)$$

Результати дослідження щодо зниження вмісту у відпрацьованих газах (ВГ) оксидів азоту за рахунок застосування рециркуляції газів та зменшення кута випередження упорскування палива (КВУП). При роботі дизеля з рециркуляцією газів заряд у циліндрі двигуна (GF) складається зі свіжого атмосферного повітря (Gs), залишкових (Gy) та рециркульованих газів РВГ (Grg):

$$GF = Gs + Gy + Grg, \quad (5.15)$$

При рециркуляції вміст кисню в циліндрах двигуна значно знижується, що відбивається як свіжого заряду і враховується коефіцієнтом якості заряду при рециркуляції [11, 35, 40].

2.6 Принципи удосконалення методики визначення кількості шкідливих викидів транспортними ДВЗ у навколишнє середовище

Відомо, що серед всіх споживачів палива саме ДВЗ тепловозного парку локомотивного господарства, в першу чергу, в силу специфіки своєї роботи, є головними джерелами шкідливих викидів в навколишнє середовище на залізничному транспорті. На їх частку припадає 30 % викидів CO, 42 % викидів NO_x, близько 16 % викидів SO_x і 21 % частинок сажі (в перерахунку на C). Таким чином, основна кількість викидів шкідливих речовин припадає на оксиди азоту.

Отже, проблеми негативного впливу техніки на навколишнє середовище, не дивлячись на постійні намагання конструкторів, технологів та спеціалістів з експлуатації тягового рухомого складу (ТРС), нажаль, не зменшуються. Поки що невідомо, в яку сторону зміняться на практиці сумарні абсолютні величини «екологічних відрахувань» відповідних підприємств локомотивного господарства залізниць України, чи промислових підприємств залізничного транспорту (ППЗТ), що експлуатають тепловози різного роду роботи. Мова буде йти виключно про об'єктивність кількісної оцінки, без можливих пропозицій активного впливу на технічний стан силових установок тепловозів [11, 35, 40].

Приклад демонстраційного розрахунково-експериментального визначення сумарної маси шкідливого викиду за добу (в даному випадку – вуглецю) приведено в таблиці 5.1. Вихідні дані стосовно потужності ЛЕУ (кВт) і часу роботи (год.) за позиціями КМ на протязі доби (теж за конкретними позиціями) наведені для тепловоза серії 2ТЕ10В магістрального роду транспортної роботи. Слід зазначити, що інтервал «доба» може бути замінено любим контрольованим інтервалом («поїздка», «місяць»).

Таблиця 5.1

Приклад розрахунку сумарної маси викидів вуглецю дизелем 10Д100 за контрольований бюджет робочого часу (24 год.)

ПКМ	Потужність ЛЕУ, кВт	Час роботи дизеля, год.	Питома кількість (інтенсивність викидів), кг/(кВт·год)	Маса викидів (С), кг
1	2	3	4	5
0 (х.х.)	24	11,96	110	31,6
1	147	0	60	0,0
2	268	0,46	35	4,3
3	430	0,69	34,5	10,2
4	577	0,81	30,2	14,1
5	750	0,58	30	13,1
6	900	0,81	29	21,1
7	1040	0,69	28	20,1
8	1217	1,04	28	35,4
9	1386	1,15	28	44,6
10	1544	1,73	28	74,8

1	2	3	4	5
11	1706	1,27	28	60,7
12	1830	0,62	29	32,9
13	1934	0,46	30	26,7
14	2074	0,35	31	22,5
15	2200	0,41	32	28,9
Всього за час роботи:				441

Наведені дані (табл. 5.1) демонструють, що добовий викид тільки вуглецю (сажі) з вихлопними газами дизеля 10Д100 (силової установки секції магістрального тепловоза 2ТЕ10В), згідно з наявними вихідними даними і результатами аналітичних розрахунків, складе 441 кг. Усереднено інтенсивність викиду вуглецю з вихлопними газами зазначеного тепловозного дизеля складе 18,4 кг/год.

Застосування даних таблиці 5.1 (колонки 1 і 5) з похідною гістограмою розподілу викидів (рис. 5.22), дає можливість візуалізації величини усередненого експлуатаційного впливу тепловозного ДВЗ на навколишнє середовище в частині маси викидів вуглецю. Виявляється, що режими «холостого ходу» (нульова позиція КМ) абсолютно сумарні за кількістю викидів практично з усіма режимами тяги тепловоза [11, 35, 40].

2.7 Оцінка впливу викидів від дизельних двигунів на здоров'я людини та довкілля

Найбільші забруднення атмосферного повітря надходять від установок, що працюють на вуглеводневому паливі (бензин, гас, дизельне паливо, природний газ та ін.). Кількість забруднень визначається складом, обсягом палива, що спалюється, і організацією процесу згоряння. Основними речовинами, що потрапляють в атмосферу при згорянні викопного палива, є SO₂, NO_x, СО, тверді частинки та парникові гази, такі як СО₂. Інші речовини, наприклад важкі метали, фтористий водень, галоїдні сполуки, незгорілі вуглеводні, неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС) і діоксини викидаються в атмосферу в невеликих кількостях, але можуть становити значний вплив на навколишнє середовище через свою токсичність або стійкість. Викиди летючої золи можуть також включати частинки з аеродинамічним діаметром менше 10 мкм, звані РМ10 [11, 35, 40].

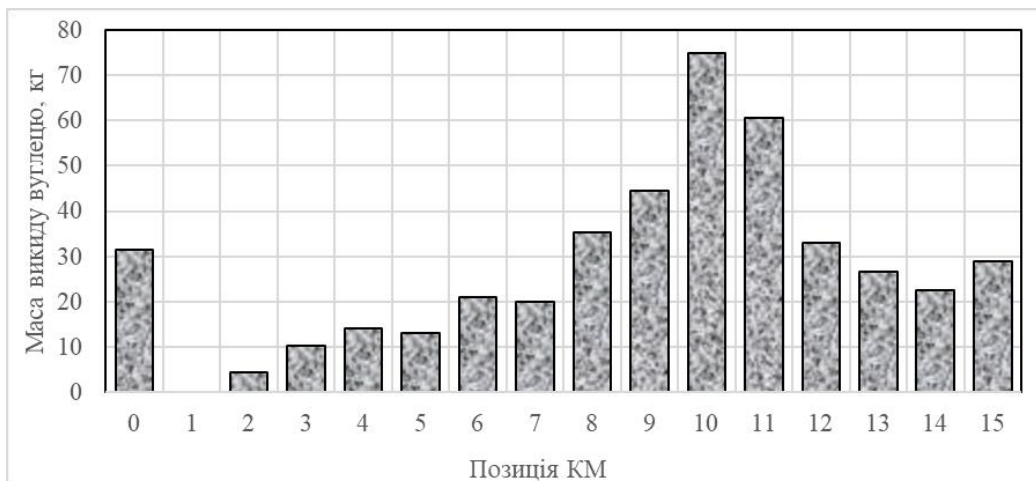


Рисунок 5.22 – Розподіл викидів вуглецю до навколишнього середовища дизелями 10Д100 тепловозів 2ТЭ10В

Шкідливі речовини, що виділяються при згорянні палива різного якісного складу у двигунах, залежно від механізму їх створення можна розділити на три основні групи:

1) продукти повного (діоксиду вуглецю CO_2) та неповного згорання (оксид вуглецю CO , неспалені вуглеводні C_nH_m , в тому числі поліциклічні ароматичні, сажа або тверді частинки);

2) оксиди азоту NO_x , механізм створення яких безпосередньо непов'язаний (або пов'язаний дуже мало) з процесом згорання палива; викиди NO_x , що обумовлені, головним чином, реакціями окислення атмосферного азоту киснем при високих температурах (за термічним механізмом);

3) речовини, викиди яких пов'язані, головним чином, зі вмістом у паливі сірки, сполук свинцю, золи (що містить різні важкі метали).

Шкідливість і агресивність викидів ДВЗ в залежності від природи виникнення різна.

Незважаючи на успіхи, досягнуті в галузі скорочення антропогенних викидів основних забруднювачів повітря за останні десятиліття, погана якість повітря, як і раніше, залишається однією з важливих проблем охорони здоров'я (ЕАОС, 2010). Особливо це стосується переносимих повітрям ВЧ, тропосферного (приземного) озону (O_3) і діоксиду азоту (NO_2).

Ще у 2012 році Міжнародне агентство з дослідження раку (МАДР) Всесвітньої організації охорони здоров'я дійшло висновку про те, що викиди з дизельних двигунів є канцерогенними для людини з урахуванням переконливих доказів того, що їх вплив підвищує ризик захворювання на рак легенів. У зв'язку з цим МАДР скоригувала висновки, зроблені ним у 1988 році, коли воно класифікувало викиди дизельних двигунів як потенційно канцерогенні для людини. Висновки, зроблені на основі попередньої оцінки, проведеної в 1989 році, про те, що викиди з бензинових двигунів є потенційно канцерогенними для людини, змін не зазнали.

Доречно зазначити, що рішення МАДР було одностайним і ґрунтувалося на "неспростовних" наукових доказах. МАДР звернулося до людей усього світу

з наполегливим закликком максимально обмежити своє перебування у місцях, де вони можуть зазнавати впливу дизельних викидів. Щодня велике число людей піддається впливу викидів з дизельних двигунів через їх професійну діяльність, і вдихання навколишнього повітря. Люди піддаються впливу викидів не тільки двигунів автотранспортних засобів, але й з інших дизельних двигунів, включаючи двигуни, що експлуатуються на інших видах транспорту (наприклад, у дизельних складах та судах), а також у стаціонарних джерелах енергії (наприклад, електрогенераторах та генераторах рухів, що використовуються в енергетиці).

Разом з тим зростаюча стурбованість у зв'язку з канцерогенним впливом викидів з дизельних двигунів заснована на висновках, зроблених в ході епідеміологічних досліджень, які були підтвержені опублікованими результатами аналізу професійного впливу таких викидів на шахтарів, що працюють під землею, проведеного Національним інститутом раку та Національним інститутом з охорони праці та промислової гігієни США. Цей аналіз свідчить про підвищення ризику смерті внаслідок захворювання на рак легенів.

Контроль концентрацій газо- та пароподібних домішок атмосферного повітря здійснюється за допомогою газоаналізаторів, що дозволяють здійснювати миттєвий та безперервний контроль вмісту в ньому шкідливих домішок.

Основні забруднювачі, концентрації яких вимірюються на стаціонарних постах спостереження: оксид азоту (NO), діоксид азоту (NO₂), діоксид сірки (SO₂), оксид вуглецю (CO), зважені частки (пил), а також аміак (NH₃), озон (O₃).

Оксид азоту (NO) - це безбарвний газ без запаху, що має високу реакційну здатність, який сам по собі нешкідливий для людини, 3-го класу небезпеки. Однак варто сонцю прогріти повітря, як у результаті фотохімічного окислення оксид азоту перетворюється на набагато небезпечніший діоксид азоту (NO₂).

Діоксид азоту (NO₂) - рудо-бурий газ, який утворює «лисий хвіст», речовина 2-го класу небезпеки. Основними антропогенними джерелами є процеси високотемпературного згоряння різних видів палива (природного газу, вугілля, бензину, мазуту) на теплових електростанціях, промислових установках та автомобільних двигунах.

Діоксид азоту та оксид азоту відіграють важливу роль у фотохімічних процесах, що відбуваються у тропосфері під впливом сонячної радіації, часто є причиною утворення фотохімічного смогу, високих концентрацій приземного озону та формальдегіду, а також кислотних дощів.

Вплив оксидів азоту на людину призводить до порушень функцій легень та бронхів, до зростання сприйнятливості до інфекцій дихальних шляхів, нападу астми. Впливу оксидів азоту більшою мірою схильні діти і дорослі, які страждають на серцево-судинні захворювання.

Діоксид сірки, сірчистий ангідрид (SO₂) - безбарвний газ з характерним різким запахом (запах сірника, що спалахує), 3-го класу небезпеки. Міститься у викидах підприємств чорної та кольорової металургії, виробництва кераміки, капролактаму, лінолеуму, руберойду, толю, пергаміну, пінопласту, мінераловолокнистих плит; у викидах харчової, текстильної та паперової промисловості, а

також підприємств теплоенергетики-теплових електростанцій (ТЕЦ, ДРЕС, котельні) та ін.

Дія діоксиду сірки в концентраціях вище гранично допустимих може призводити до суттєвого збільшення різних хвороб дихальних шляхів, впливати на слизові оболонки, викликати запалення носоглотки, бронхіти, кашель, хрипоту та біль у горлі. Особливо висока чутливість до діоксиду сірки спостерігається у людей із хронічними порушеннями органів дихання, з астмою.

Високі концентрації діоксиду сірки спричиняють серйозне пошкодження рослинності. Гостро пошкодження, викликане діоксидом сірки, відбивається у появі білястих плям на широколистих рослинах (особливо шпинату, салату, бавовни та люцерни), а також голок сосни. Вплив SO_2 на ґрунт знижує її родючість, т.к. у своїй відбувається закислення. У присутності діоксиду сірки прискорюється корозія металів повітря.

Оксид вуглецю (CO) – безбарвний газ, що не має запаху, відомий також під назвою «чадний газ», 4-го класу небезпеки.

Оксид вуглецю утворюється в результаті неповного згоряння викопного палива (вугілля, газу, нафти) в умовах нестачі кисню та за низької температури.

65 % всіх викидів оксиду вуглецю посідає транспорт, 21 % - на дрібних споживачів і побутової сектор, а 14 % - на промисловість. Екстремальні концентрації часто спостерігаються в районах підвищеного антропогенного навантаження на навколишнє середовище: у години пік на транспорті або при інверсіях (тобто в умовах слабкого повітряного обміну), що сприяють виникненню смогу.

При вдиханні чадний газ утворює міцні комплексні сполуки з гемоглобіном крові людини і тим самим блокує надходження кисню до крові. Це викликає головний біль, нудоту, а при вищій концентрації - смерть.

Озон (O_3) – це газ, який є як у верхніх шарах атмосфери, і лише на рівні Землі, 1-го класу небезпеки [11, 35, 40].

Залежно від розташування в атмосфері озон може бути "хорошим" або "поганим" для довкілля та здоров'я людини. Стратосферний озон захищає життя на Землі від шкідливого ультрафіолетового випромінювання Сонця.

Приземний (тропосферний) озон утворюється під час хімічної реакції під впливом сонячного випромінювання. Освіта його високих концентрацій найімовірніше в теплу пору року. Вдихання озону може спричинити кашель, задишку, подразнення дихальних шляхів. Діти та люди похилого віку особливо чутливі до озону, він також небезпечний для тих, у кого є захворювання легень.

Зважені частинки (пил) - поширений забруднювач атмосферного повітря, що включає суміш твердих і рідких частинок, що знаходяться у зваженому стані. Зважені частинки включають дрібнодисперсні частинки PM_{10} і $PM_{2,5}$.

Дрібні частинки PM_{10} і $PM_{2,5}$ - тверді мікрочастинки розміром менше 10 мкм - PM_{10} і менше 2,5 мкм - це $PM_{2,5}$, що знаходяться в повітрі у зваженому стані, які утворюються в результаті спалювання різних видів палива (вугілля, нафта, газ).

У великому місті в повітрі завжди є частки $PM_{2,5}$ і в будь-якому випадку людина вдихає їх. Якщо з кожним днем у людину потрапляє більше шкідливих

частинок, ніж встигає вийти, тоді вони накопичуватимуться в організмі. Основна небезпека PM2.5 полягає не в різких стрибках концентрації, а в хронічному впливі цих частинок на організм. Симптоми отруєння PM2.5 будуть проявлятися непомітно. На день середньостатистичний міський житель вдихає 200 мільярдів частинок PM2.5. Половина з них відкладається у легенях. Одна така доза обійдеться без серйозних наслідків. Але з часом відкладення PM2.5 в організмі переважають за критичний рівень, що призведе до зростання захворюваності на респіраторні та серцево-судинні хвороби, наприклад, погіршення стану при астмі, захворювання дихальних шляхів, збільшення смертності від серцево-судинних, респіраторних та онкологічних захворювань.

Для нормування та оцінки впливу викидів на довкілля розроблені певні методи. Зокрема розроблені гранично допустимі концентрації (ГДК) домішок. Основною фізичною характеристикою домішок атмосфери є концентрація – маса (мг) речовини в одиниці об'єму (м³) повітря за нормальних умов. Концентрації домішок визначає фізичне, хімічне та ін. види впливу на людину та навколишнє середовище та служить основним параметром при нормуванні вмісту домішок в атмосфері.

ГДК - це максимальна концентрація домішок в атмосфері, віднесена до певного часу опосередкування, яка при періодичному впливі або протягом всього життя людини не надає ні на нього, ні на навколишнє середовище в цілому шкідливої дії (включаючи окремі наслідки). Якщо речовина надає на навколишню природу шкідливу дію в менших концентраціях, ніж організм людини, то за нормування виходять із порога впливу цієї речовини на навколишню природу.

Максимальна разова ГДК_{max} - основна характеристика небезпеки шкідливих речовин. Вона встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості, зміна біоелектричної активності головного мозку та ін.) при короткочасному впливі атмосферних домішок. Середньодобове ГДК_{сд} встановлено для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного та інших впливів речовин на організм людини.

У випробуваннях транспортних засобів, заснованих на реальних вимірюваннях, все частіше використовується індекс токсичності M_i. Це частка j-ї токсичної сполуки та викидів CO₂, помножити на константу k (CO, HC, NO_x = 103, PM = 105), як представлено у формулі (5.15). Порівняльні аналізи викидів забруднюючих речовин для різних груп транспортних засобів може бути важко реалізувати. Це є результатом характеру призначення об'єкта та умови експлуатації.

Особливо це стосується NRMM (недорожня мобільна техніка).

$$M_i = k \cdot \frac{m_j}{m_{CO_2}}, \quad (5.16)$$

Основними продуктами згоряння в двигунах є CO₂, вода і тепло, що перетворюються на механічну роботу. Викиди CO₂ безпосередньо пов'язані зі споживанням палива. Водночас він може бути мірилом правильності процесу

згоряння та якості роботи позамоторних систем очищення вихлопних газів. Токсичні сполуки, такі як CO, HC, NO_x і PM, є продуктами неповного згоряння і горіння при високій температурі і тиску. Враховуючи ці факти, можна порівняти викиди CO₂ з іншими викидами токсичних речовин і на основі цього визначити показники токсичності M_i [11, 35, 40].

2.8 Аналіз сучасних перспектив екологізації двигунів локомотивів

Як показує досвід, зниження шкідливих викидів від транспортних засобів має здійснюватися, перш за все, за рахунок покращення екологічних характеристик самого транспортного засобу за оптимальних режимів його руху та питомих витрат моторного палива. Це може бути досягнуто через поетапне оновлення експлуатованого парку шляхом заміни "старих" транспортних засобів, що виводяться з експлуатації, на сучасні та екологічно безпечні, шляхом модернізації експлуатованих транспортних засобів за рахунок оснащення їх пристроями очищення газів, що йдуть, або переведенням їх на "чистіше" паливо (наприклад, газове), вибором оптимальних режимів виконання поїзної роботи. Тому пошук шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів тепловозів є важливим для залізничного транспорту. При цьому першочергову увагу слід звернути до заходів щодо зниження концентрації оксидів азоту.

Отже, заходи щодо зниження вмісту шкідливих викидів у вихлопних газах поділяють на ті, що відносяться до конструкції дизеля і таких, що не належать до неї.

У коротко-, середньо- чи довгостроковій перспективі простежуються дві тенденції вдосконалення тягового рухомого складу, які у принципі різняться філософією двигуна. У довгостроковій перспективі надається перевага електричним двигунам, робота яких не супроводжується шкідливими викидами. Поруч з цим, можливе застосування численних змішаних варіантів, наприклад гібридних систем.

Концепція, що реалізується в коротко- або середньостроковій перспективі, базується на використанні чи вдосконаленні двигунів внутрішнього згоряння та застосуванні альтернативних видів палива – біологічного, природного газу, водню. Поступова заміна одного енергоносія іншим повинна проводитися з урахуванням переваг та недоліків альтернативного палива щодо економічних аспектів його отримання та застосування [11, 35, 40].

Зміни, які вносяться в конструкцію двигуна, безпосередньо впливають на процеси згоряння палива та утворення шкідливих речовин. Первинні шкідливі викиди двигуна можна знизити шляхом оптимізації способів спалювання, упорскування та звичайного наддуву. Можуть бути також реалізовані і нетрадиційні заходи, наприклад, упорскування суміші палива з водою (DWE), метод Міллера, а також використання в процесі наддуву вихлопних газів (турбонаддув, рис. 5.23). Тут вихлопні гази обертають турбіну, яка, у свою чергу, надає руху компресору, що подає в циліндри наддувне повітря. Всі ці заходи передбачають

глибоке втручання у конструкцію двигуна і можуть бути виконані, як правило, лише в рамках модернізації дизелів або створення нового рухомого складу.

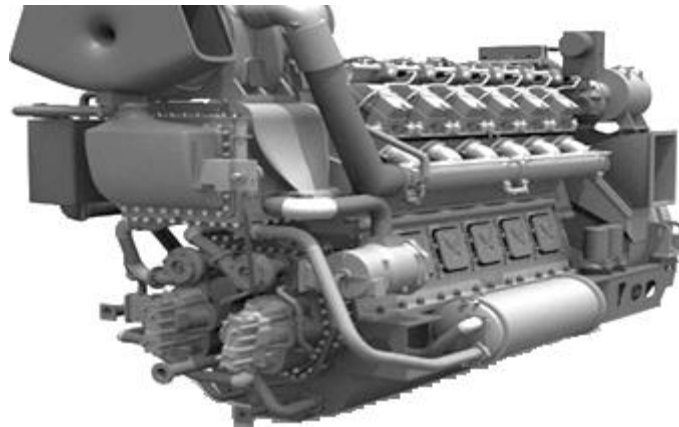


Рисунок 5.23 - Турбокомпресор з наддувом

Удосконалення способу спалювання палива в двигуні веде, як правило, або до його меншої витрати і, відповідно, менших викидів частинок сажі, або зниження викидів оксидів азоту.

Витрата палива в тягових двигунах - важливий критерій, оскільки він вирішальною мірою впливає на витрати життєвого циклу тягового рухомого складу. Можливості зниження викидів за допомогою цих заходів є обмеженими.

У таблиці 5.2 дано огляд подібних заходів, що забезпечують зниження викидів оксидів азоту приблизно на 30 %.

Дослідження поданих у табл. 5.2 технічні заходи показали, що доцільним може бути їх поєднання. Спільне використання вдосконаленої технології упорскування, застосування турбонаддува та методу Міллера дозволяють досягти значних покращень [11, 35, 40].

Таблиця 5.2

Модернізація двигуна з метою зменшення викидів оксидів азоту

Заходи	Витрати палива	Монтажний об'єм	Маса
Система упорскування Common Rail 2 покоління	Підвищений	Без змін	
Система упорскування Common Rail з турбонаддувом	Підвищений незначно	Без змін	
Упорскування суміші та води	Без змін	+40 % об'єму	+50 % об'єму
Метод Міллера	Підвищений незначно	Без змін	

Заходи, що не зачіпають конструкцію дизеля, передбачають усунення шкідливих речовин, що викидаються, або їх перетворення за допомогою підключених фільтрів та/або каталізаторів. На легкових автомобілях із бензиновими

двигунами таке очищення вихлопних газів проводиться вже близько 20 років, а на вантажних - з моменту набуття чинності документом Euro 4.

На залізничному транспорті діють спеціальні вимоги, які необхідно врахувати при розробці та виготовленні дизелів, а саме:

- значне зниження викиду шкідливих речовин (окисів азоту, окису вуглецю, вуглеводнів та частинок сажі) за досить високої частки роботи в режимі холостого ходу;
- широкий температурний діапазон роботи тягового приводу (температура вихлопних газів від 80°C до 600°C);
- стійкість по відношенню до специфічних навантажень рухомого складу, насамперед до частоті та швидкої зміни температури вихлопних газів, високих динамічних сил, що виникають внаслідок взаємодії колеса з рейкою;
- незначний протитиск вихлопу;
- тривалий термін служби та повільне старіння приводів;
- відсутність чи лише незначне підвищення витрат палива;
- незначні витрати на ремонт.

Пристрої для додаткової обробки вихлопних газів розрізняються за принципом дії, складності, типом обладнання, монтажному об'єму і масою, ступенем очищення від шкідливих речовин вихлопних газів дизеля (табл. 5.3).

Зниження викиду оксидів азоту та частинок сажі є при цьому найважливішою вимогою. Пізніше, після набуття чинності ступенем ІІВ директив RL 97/68 EG, запланованого на 2025 р., на залізничному транспорті будуть застосовуватись системи додаткової обробки вихлопних газів. Для забезпечення встановлених граничних значень можна також поєднувати заходи, що виконуються в конструкції дизеля і поза нею, наприклад одночасно використовувати турбонаддув та застосовувати фільтр сажі.

Таблиця 5.3

Додаткова обробка викидів

Вид додаткової обробки	Принцип дії	Обладнання	Компоненти викидів
Окислення	Каталіз	Каталізатор окислення	Вуглеводні, окис вуглецю
Фільтрація	Седиментація	Сажевий фільтр	Частинки сажі
Відновлення	Каталіз	Селективна система каталітичного осадження (SCR)	Вуглеводні, окис вуглецю, частинки сажі
Окислення і фільтрація	Каталіз та седиментація	Потоковий регенеруючий уловлювач (система CRT)	Вуглеводні, окис азоту, частинки сажі
Окислення, відновлення і фільтрація		Система SCRT - поєднання SCR та CRT	Вуглеводні, окис вуглецю, окис азоту, частинки сажі

Крім цього, витрати палива рухомих складом та створювані ним шкідливі викиди можна мінімізувати, якщо застосувати інноваційні приводи, що використовують енергію гальмування, інтелектуальне керування допоміжними пристроями, обладнання полегшеної конструкції. На величину викидів впливають інші чинники – конструкція низки вузлів і агрегатів рухомого складу, вид графіка руху, режим ведення поїзда, характер траси.

Так, однією з інноваційних концепцій є – гібридний привід.

Аналіз балансу енергії приводу рейкового рухомого складу показує, що можна користуватися енергією гальмування. Розподіл енергії приводу, схематично представлено на рис. 5.24, переважно залежить від профілю шляху. Потенціал корисного використання енергії гальмування (рекуперації) сягає 25 %.

На електрорухомом складі рекуперація здійснюється вже давно. Тут рекуперована енергія передається в живлячу систему через контактну мережу. На тепловозах та дизель-поїздах для прийому рекуперованої енергії потрібен акумулятор [11, 35, 40].

При поєднанні приводів кількох типів утворюється званий гібридний привід. Найбільш поширене поєднання двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна з акумуляторною батареєю або потужною батареєю конденсаторів. Можливе також застосування механічних чи пневматичних акумуляторів.

Гібридні приводи можуть бути паралельні та послідовні. У паралельному гібридному приводі обидва двигуни, як правило, механічно з'єднані, працюють разом, переміщуючи локомотив. При послідовному гібридному приводі двигун внутрішнього згоряння тільки обертає генератор, від якого отримує живлення електричний двигун.

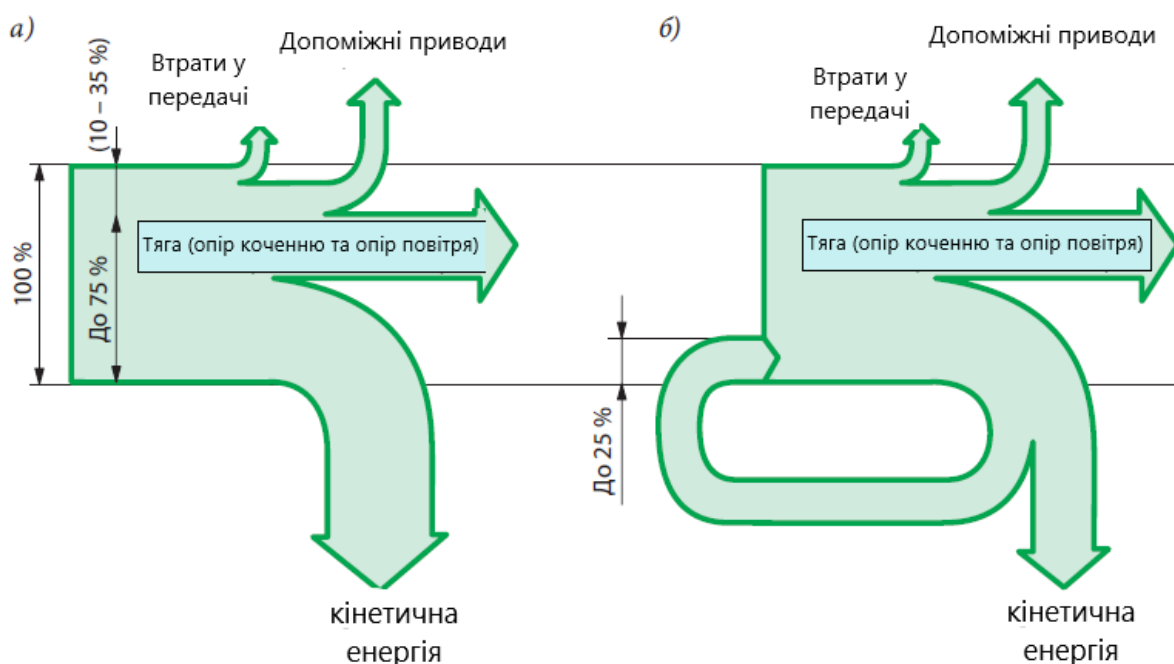


Рисунок 5.24 – Розподіл енергії тягового приводу:

а) без рекуперації; б) з рекуперацією

Розрізняють гібридні приводи середньої та повної потужності. У першому електричний двигун, потужність якого становить 10...15 % потужності двигуна внутрішнього згорання, використовується для посилення крутного моменту на виході. У цьому випадку корисно використовується підготовлена енергія, отримана в процесі гальмування, коли електрична машина працювала в генераторному режимі.

У так званому приводі повної потужності рух здійснюється лише з використанням накопиченої електричної енергії. У цьому випадку потужність електричної машини повинна становити 30...50 % потужності двигуна внутрішнього згорання.

Залежно від концепції гібридного приводу та характеристик його компонентів під час експлуатації рухомого складу можуть бути застосовані нові стратегії керування приводом, що забезпечують таке:

- прибуття на станцію та відправлення поїзда без шкідливих викидів (включено лише електричні тягові двигуни);
- відключення дизеля під час зупинки на станції;
- зниження потужності двигуна внутрішнього згорання;
- можливість роботи при відмові стартера, електричного генератора бортової мережі або акумуляторної батареї;
- підвищення потужності тягового приводу для прискорення розгону;
- проходження населених зон без шкідливих викидів;
- рух на вибігу при відключеному двигуні внутрішнього згорання.

Існують різні міркування та концептуальні ідеї щодо створення рухомого складу з декількома видами приводів та акумуляторами відповідно до розглянутої архітектури.

При оснащенні діючого рухомого складу гібридним приводом слід дотримуватися балансу мас і брати до уваги монтажні простори, що є в розпорядженні.

Управління допоміжним обладнанням. У пасажирських перевезеннях близько 25 % енергії, що споживається тяговим рухомих складом з дизельними двигунами, витрачається на живлення допоміжного обладнання та пристроїв для забезпечення необхідного рівня комфорту. Сюди відносяться прилади опалення, що живляться від бортової системи електропостачання, компресори для систем кондиціонування повітря та вентиляції, а також вентилятори та насоси системи охолодження. Управління живленням цього устаткування нині здійснюється у обмежених масштабах. Потреба енергії та вибір цих пристроїв визначаються, як правило, максимальною потужністю [11, 35, 40].

Аналіз тривалості роботи окремих одиниць обладнання показав, що максимальна потужність залежно від пори року використовується лише протягом 30...60 % часу їхньої роботи. Поєднання інтелектуальної системи регулювання та гібридного приводу з накопичувачем енергії відкриває нові можливості для управління роботою допоміжного обладнання:

- живлення допоміжного обладнання енергією, що надходить від електричного тягового двигуна, що працює при гальмуванні в генераторному

режимі, або від накопичувача електричної енергії (локальне вилучення шкідливих викидів);

- використання при пікових навантаженнях енергії, що накопичена в накопичувачі;
- відключення генератора бортової мережі;
- компаундування (змішане включення) окремих одиниць допоміжного обладнання;
- регулювання часу ввімкнення відповідно до режиму руху та рівня заряду акумулятора;
- підтримка режиму опалення або кондиціонування вагонів у відстої при вимкненому дизелі.

Завдяки перерахованим заходам зменшення викидів двоокису вуглецю та шкідливих речовин рухомим складом може досягати 10 %.

Також існують технології використання альтернативних палив. Як відомо, запаси копалин енергоносіїв, наприклад нафти та вугілля, обмежені, тому необхідно шукати альтернативи традиційним енергоресурсам - бензину, дизельному паливу та гасу.

Підвищення ефективності роботи тепловозів переведенням їх на скрапленний нафтовий газ. На основі результатів аналізу виконаних робіт з використання зрідженого нафтового газу в дизельних двигунах можна зробити наступні висновки:

- зріджений нафтовий газ як паливо для дизелів рухомого складу має значну сировинну та ресурсну базу;
- при переведенні тепловозів на цей вид палива істотно покращуються експлуатаційні якості двигунів, зменшується викид токсичних речовин, збільшується міжремонтний термін служби дизелів за рахунок зменшення зносу деталей циліндропоршневої групи та паливної апаратури дизелів;
- найперспективнішим способом модернізації дизелів тепловозів до роботи на зрідженому нафтовому газі є застосування методу безпосереднього упрскування. Однак для цього недостатньо відпрацьовані схеми паливоподачі, що забезпечують надійний пуск та стійку роботу;
- для різних типів дизелів рекомендовані часто суперечливі співвідношення складу паливних сумішей та високооктанових присадок;
- недостатньо вивчені питання вибору способу сумішоутворення та поліпшення займистості палива (підвищення октанового числа).

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити багато завдань:

- виконати якісний і кількісний аналіз можливостей і умов для збереження на тепловозі суміші дизельного палива та зрідженого нафтового газу;
- запропонувати технологію використання суміші дизельного палива та зрідженого нафтового газу для дизелів тепловозів, що забезпечує покращення експлуатаційних показників та зниження витрат на паливо;
- дослідити та визначити ступінь впливу складу паливної суміші на експлуатаційні характеристики дизелів тепловозів;

- розробити математичну модель для оцінки експлуатаційних показників дизелів тепловозів при роботі на дизельному паливі, зрідженому нафтовому газі та його сумішах з дизельним паливом та присадками;
- обґрунтувати та запропонувати критерій оцінки ефективності роботи дизелів тепловозів на альтернативних видах палива.

Далі обговоримо експлуатаційні заходи, що знижують шкідливі викиди.

Будь-яке зменшення споживання енергії на залізничному транспорті автоматично веде до зниження шкідливих викидів. Таким чином, економія енергії на потяг стає засобом, що дозволяє в короткостроковій перспективі досягти відповідного успіху щодо викидів. Цьому сприяють також навчання машиністів, візуалізація, реєстрація та оцінка витрат палива.

Значний внесок можуть зробити технічні пристрої, які допомагають машиністу, - так звані асистент-системи [11, 35, 40].

Одна з них, а саме система ESF забезпечує енергозберігаючий режим ведення поїзда. У разі сприятливого становища локомотива у графіку руху можна відключити тягу на перегоні та використовувати рух поїзда на вибігу, тобто за рахунок інерції. Це дозволяє заощаджувати значну кількість енергії до повторного включення тяги або до початку процесу гальмування без помітного збільшення тривалості подорожі.

Система ESF забезпечує машиніста інформацією про положення поїзда у графіку та рекомендований момент переходу в режим вибігу.

На DB до складу цієї системи входить електронний розклад руху поїздів (EВuLa). Основний принцип технічної реалізації системи та необхідні для неї вхідні дані показані на рис. 5.25.

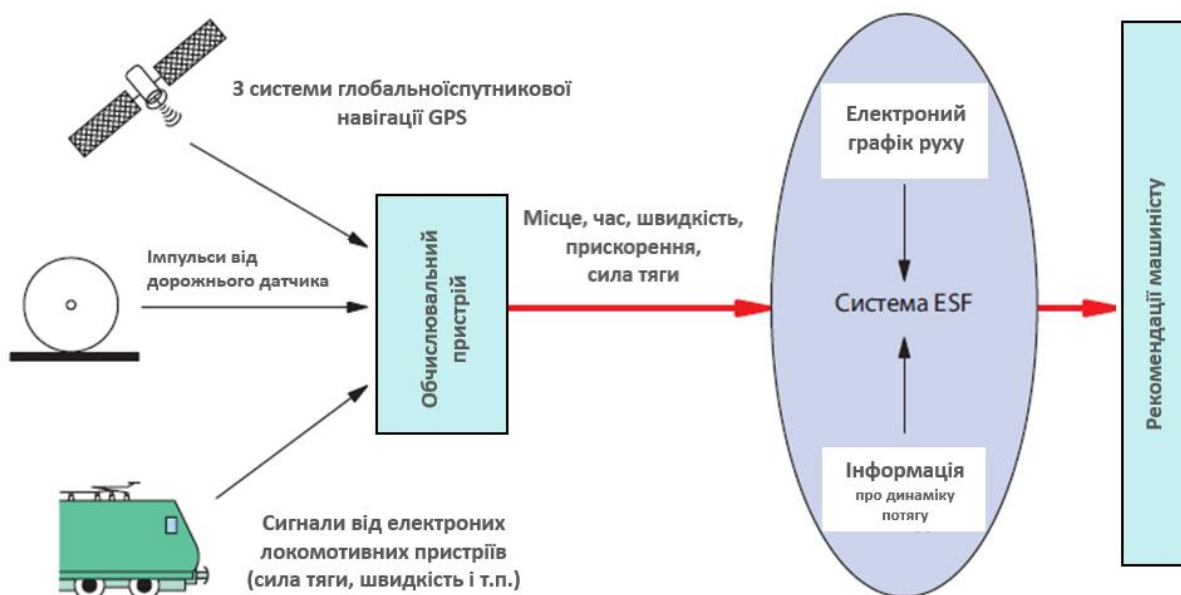


Рисунок 5.25 - Принцип дії системи ESF, що встановлюється в локомотиві

Таким чином, у розпорядженні машиніста з'явилася система-помічник, яка ефективно доповнює його досвід та накопичені практичні знання. Вона

забезпечує енергооптимальне ведення поїзда, швидко реагуючи на порушення, що виникають, тобто своєчасно передає машиністу інформацію та відповідні рекомендації.

Ще одним ефективним засобом зниження витрати пального є проект FreeFloat DB, орієнтований на інтегральну оптимізацію інфраструктури, графіка руху та методів експлуатації, а також на гнучкий збут транспортних послуг. Тут у центрі уваги знаходяться графік руху поїздів та ефективність регулювання парку вагонів.

Спеціальні інструментальні засоби DisKon та Zuglaufregler забезпечують оптимальне використання залежно від умов експлуатації резервів часу в графіку, знижують ймовірність запізнення поїздів і помітно сприяють енергозбереженню в процесі руху поїзда. На локомотив можна, наприклад, передавати інформацію про актуалізацію графіка руху (так зване регулювання графіка), завдяки чому наступні поїзди можуть бути проведені з меншою витратою енергії на тягу.

У останні роки DB постійно знижували шкідливі викиди, створювані тепловозною тягою, реалізуючи різні технічні та експлуатаційні заходи.

Потенціал зниження шкідливих викидів далеко ще не вичерпаний. Цілком можливі подальші покращення, спрямовані на захист клімату або підвищення конкурентоспроможності залізниць.

Поруч із автомобільних перевезеннях спостерігається прагнення заміни приводу автомобіля: промисловість нині дедалі більше уваги приділяє електричному приводу.

Більшість залізничних перевезень протягом десятиліть здійснюється на електричній тязі. Разом з тим, повна електрифікація федеральної залізничної мережі Німеччини неможлива з міркувань економічної ефективності. Для частини промислових підприємств, а також у колійних роботах на залізниці та в майбутньому доведеться використовувати тяговий рухомий склад, який отримує харчування не від контактної мережі.

Створення рухомого тягового складу або його окремих компонентів, що забезпечують роботу без шкідливих викидів, є першочерговим завданням залізничного машинобудування. При цьому слід поряд із колишньою установкою на оптимізацію дизелів переходити до розгляду загальних проблем залізничного транспорту, включаючи вплив на витрати енергоресурсів на якість інфраструктури, у тому числі системи тягового електропостачання.

При вдосконаленні рухомого складу промисловість, однак, має спиратися на знання та досвід компаній операторів. Це може бути особливо корисним при випробуваннях технологічних систем та компонентів, що забезпечують підвищення енергоефективності та зниження шкідливих викидів в умовах, близьких до експлуатаційних.

DB разом з провідними компаніями-виробниками рухомого складу розробили ефективну концепцію Центру нових технологій приводів та зниження шкідливих викидів (DB Eco Center) [11, 35, 40].

Його програма ґрунтується на питаннях створення екологічних систем приводу для залізничного рухомого складу. До складу цього центру увійшли такі найбільші компанії, як Alstom, Bombardier, Siemens.

Ефективним методом покращення показників є використання компримованого природного газу (КПГ) як добавка до дизельного палива. Експлуатація маневрових тепловозів характеризується частою зміною режимів роботи та застосування зрідженого природного газу (ЗПГ) неможливо через інерційність газифікатора, тому для них доцільно застосовувати КПГ.

Змішування КПГ з дизельним паливом дозволяє покращити якість розпилу та згоряння сумішевого палива шляхом додаткового руйнування його паливного струменя за рахунок виділення природного газу при перепаді тиску, що сприяє більш тонкому та однорідному розпорощенню з безліччю початкових вогнищ займання. В результаті згоряння природного газу в повному обсязі відбувається підвищення тиску та температури, що позначається на руйнуванні паливного струменя.

Для вирішення проблеми підвищення енергоекономічних та екологічних показників дизелів тепловозів при подачі газу до дизельного палива шляхом організації робочого циклу за принципом внутрішнього сумішоутворення виходячи з переваг простоти переобладнання розроблено спеціальні системи подачі, змішування та дозування природного газу.

Варіюючи складом палива шляхом зміни вмісту природного газу в діапазоні від 1 до 90 % від загальної кількості палива, що подається, розраховуються параметри подачі сумішевого палива з урахуванням коефіцієнта компонентного складу K_0 природного газу. Таким чином, при заміщенні дизельного палива природним газом теплотворна здатність сумішевого палива зростає, тому дійсна об'ємна подача газу повинна бути знижена приблизно на 10 %. Причиною цього є відмінність у теплотворній здатності дизельного палива та природного газу.

Так, залежності питомої ефективної витрати дизельного палива для дизеля 6ЧН31/36 при заміщенні дизельного палива природним газом сягають 5 %. Питома ефективна витрата дизельного палива (b_e) знизилася в середньому на 8...12 % залежно від режиму роботи дизеля (рис. 5.26) [11, 35, 37, 40].

Частка метану у складі газу може змінюватися у широкому діапазоні, тобто від 75 до 99 %. У зв'язку існують спеціальні методики розрахунку теплоти, що виділилася при згоранні сумішевого палива з урахуванням компонентного складу природного газу, що дозволяє отримати оптимальні показники роботи дизелів тепловозів. При розрахунку сумарної кількості тепла, підведеного при згорянні сумішевого палива, враховується вплив концентрації метану в природному газі різних родовищ та коефіцієнт компонентного складу K_0 , величина якого емпірично оцінена, за результатами обробки протоколів випробувань.

На холостому ходу дизель працює за дизельним циклом, оскільки процес згоряння природного газу нестабільний (невисокі температури та тиску робочого циклу). Збільшення ефективної потужності дизеля в залежності від режиму роботи сягає в середньому на 2...4 % при подачі природного газу до дизельного

палива, не перевищуючи межі паспортних значень, закладених конструкцією дизеля.

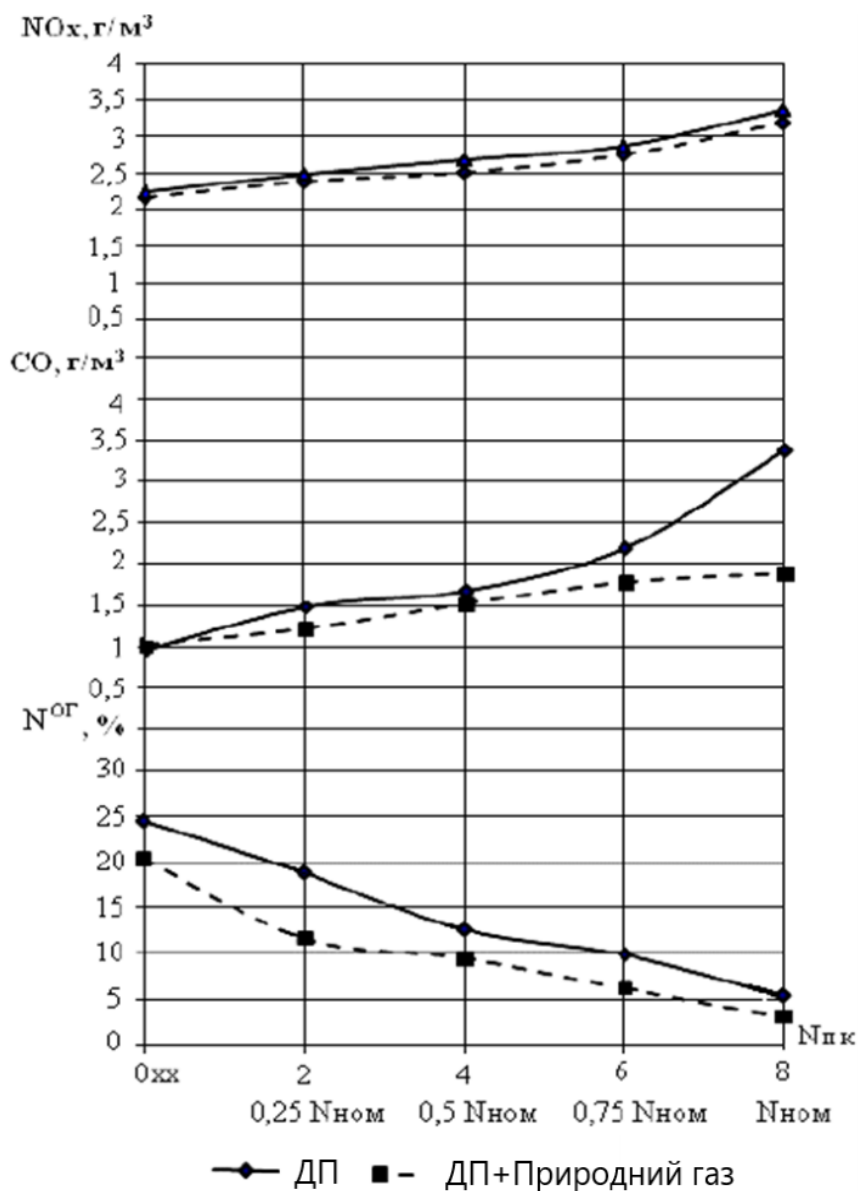


Рисунок 5.26 - Екологічні характеристики дизеля 6ЧН31/36 при роботі на сумішевому паливі

Аналіз залежностей, представлених на рисунку 5.26 показує, що при 5 % заміщенні дизельного палива природним газом в залежності від номінальної потужності дизеля спостерігається зниження шкідливих викидів: оксидів вуглецю (CO) в середньому на 6...8 %, оксидів азоту (NO_x) в середньому на 4...6 %, а димності відпрацьованих газів (N_{вг}) у середньому на 5...10 %.

Як визначальний параметр у механізмі впливу природного газу на енергоекономічні та екологічні показники роботи дизеля тепловоза приймають відношення Н/С.

3. Дослідження процесів корозії охолоджуючих систем дизелів

3.1 Сучасні теорії корозії котлового обладнання

Корозійна агресивність середовища, що впливає на конструкції, змінюється під впливом атмосферних чинників. Підвищення вологості повітря, конденсація вологи або пряме влучення атмосферних опадів призводять до зволоження теплоізоляційних матеріалів кузовів.

У деяких випадках корозійна агресивність середовища підвищується внаслідок таких технологічних операцій, як миття, що призводить до прискорення корозії сплавів. Зменшити корозійну агресивність середовища, що впливає на конструкції, можливо при правильному визначенні основних факторів, що викликають корозію [37].

3.1.1 Атмосферна корозія

Зовнішні поверхні кузовів схильні до атмосферної корозії. Корозійна агресивність зовнішньої атмосфери визначається головним чином кліматичними факторами: тривалістю зволоження поверхні металу атмосферними опадами та періодом зволоження поверхні металу адсорбційними плівками вологи при відносній вологості повітря понад 70 %, наявністю газових та пилоподібних забруднень атмосфери.

Вологість повітря вирішально впливає на процес атмосферної корозії. На чистій поверхні металу при температурі 25°C корозія практично немає, якщо відносна вологість повітря менше 70 %. За наявності на поверхні металу іржі чи інших гігроскопічних речовин при забрудненні повітря сірчистим газом критична вологість може знижуватися до 40...50 %.

Характер зволоження поверхні металоконструкцій також впливає на кінетику корозійного процесу. Коли зволоження поверхні чергується з висушуванням, спостерігається зниження швидкості корозії вуглецевих і низьколегованих сталей в результаті утворення на поверхні щільних шарів іржі, що володіють захисними властивостями.

Істотний вплив на швидкість корозії має температура навколишнього середовища. За постійної вологості понад 70 % підвищення температури збільшує швидкість корозії. Збереження досить високої рухливості молекул води в адсорбованому стані обумовлює перебіг корозійних процесів з помітною швидкістю в області негативних температур.

Підвищення концентрації сірчистого газу в повітрі, наприклад з 0,02 до 0,2 мг/м³, призводить до збільшення швидкості корозії сталі марки Ст3 в середньому в 2 рази, причому в перші роки швидкість корозії значно вища, ніж у наступні. Швидкість корозії вуглецевих сталей в атмосфері промислових міст у 4 рази перевищує швидкість корозії цих сталей в атмосфері досить чистих регіонів.

Швидкість корозії на внутрішніх поверхнях зазорів і щілин, як правило, у кілька разів вище, ніж на відкритих поверхнях через більш тривале зволоження

та підвищення корозійної агресивності середовища в результаті гідролізу продуктів корозії та зниження рН. Аналогічні явища, що призводять до підвищення корозійної агресивності середовища, відбувається при застої вологи та технологічних забруднень у вигляді пилу.

У практиці виготовлення металоконструкцій набули поширення замкнуті профілі, внутрішню поверхню яких можна не фарбувати протягом всього терміну служби, так як при забезпеченні герметичності швидкість корозії незначна. Герметичність елементів забезпечується якістю зварювання та постановкою спеціальних діафрагм чи конструктивними особливостями. І тут швидкість корозії значно зменшується [37].

3.1.2 Корозія під впливом водних середовищ

Багато елементів конструкцій, а також системи охолодження тривалий час працюють у контакті з водними середовищами.

Водні середовища виникають на поверхні конструкцій локомотивів внаслідок конденсації вологи на внутрішній поверхні кузова, застою атмосферних опадів у важкодоступних місцях. Склад водних середовищ, що виникають на внутрішній поверхні кузовів, залежить від попадання побутової вологи та миючих розчинів, що застосовуються для внутрішнього та зовнішнього миття локомотивів, від виду теплоізоляційних матеріалів, вилуговування яких змінює склад водного середовища.

Корозійна агресивність водного середовища визначається окислювальною здатністю (вмістом кисню), водневим показником, наявністю депасивуючих або, навпаки, інгібуючих іонів і молекул, електропровідністю розчину.

Окисна здатність водного середовища посилюється за наявності розчиненого кисню. При збільшенні вмісту кисню у воді швидкість корозії зростає доти, доки його концентрація стане достатньою для утворення щільної пасивної плівки, після чого вона різко знижується.

Як правило, концентрація кисню при звичайному вмісті в атмосфері не досягає значення, здатного викликати пасивацію сталі в чистій воді ($20 \text{ см}^3/\text{л}$). Регулювання вмісту кисню широко використовується зниження корозійної агресивності середовища у замкнутих системах охолодження й у системах опалення.

Підвищення окиснювальної здатності середовища досягається введенням у водні системи інгібіторів, що мають пасивні властивості: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, NaNO_2 , Na_3PO_4 , Na_2SiO_3 .

Якщо на металі внаслідок впливу окисного середовища утворюються щільні окисні плівки або відкладення нерозчинних продуктів корозії, процес корозії уповільнюється.

Утворенню захисної плівки сприяють карбонат та бікарбонат кальцію та двоокис вуглецю, розчинені у твердій воді. У твердій воді утворення захисної плівки з вапняного осаду ймовірніше, ніж у м'якій, тому жорсткі води з часом стають менш агресивними.

Для зниження корозійної агресивності середовища додають катодні та змішаного типу інгібітори (Акор-1, НГ-203А, К-17). При додаванні інгібіторів може погіршитися адгезія покриття до металу та відбутися його відшарування.

Великий вплив на швидкість корозії має водневий показник середовища (кислотність розчину). Корозійна стійкість заліза та легованих сталей знижується в кислих розчинах і підвищується у лужних. Зниження рН розчинів може відбуватися не тільки в результаті попадання миючих складів з низьким рН, але і в результаті гідролізу солей, утворених сильною кислотою і слабкою основою, таких як AlCl_3 , MnCl_2 , FeCl_2 та ін.

Присутність неорганічних солей, особливо хлоридів та сульфатів, збільшує електричну провідність води та посилює процес корозії. Хлориди та сульфати, крім того, ускладнюють формування захисних плівок. У нейтральних розчинах солей лужних металів (наприклад NaCl , KCl , Na_2SO_4) швидкість корозії заліза та вуглецевої сталі спочатку зростає зі збільшенням концентрації солі, досягає найбільшого значення, а потім падає.

Зниження швидкості корозії в концентрованих та насичених розчинах пов'язане із зменшенням розчинності в них кисню, що призводить до гальмування катодного процесу. Крім того, зменшується ступінь дисоціації та електропровідність концентрованих розчинів. Найбільшу електропровідність мають розчини сірчаної та соляної кислот, їдкого натрію та їдкого калію, хлористого калію. Солі, гідроліз яких супроводжується підлужуванням розчинів ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Na_2SO_3 , Na_3PO_4), загальмовують швидкість процесу корозії заліза та сталі.

Іноді серйозні проблеми викликає корозія котлів і труб перегрівачів з боку газу, що гріє, особливо якщо як паливо застосовується нафта, що містить ванадій. Сучасна котельна технологія забезпечує видалення розчиненого кисню з живильної води.

За деяких умов експлуатації котлів на стінках труб з боку вода утворюються відкладення оксидів металів та неорганічних сполук. У зоні відкладення відбувається місцеве перегрів, що супроводжується додатковим осадженням з води розчинених речовин. В результаті цього зазвичай виникають виразки або труби забиваються, що призводить до ще більшого місцевого нагріву і появи руйнівної напруги в трубі [37].

Крім того, водень, що утворюється внаслідок корозії заліза, може проникати у сталь. Починається знеуглеродження, яке супроводжується утворенням мікротріщин вздовж меж зерен і може викликати розрив труби. Руйнування такого типу можуть відбуватися без значного зменшення товщини стінки труби. За відсутності відкладень на трубах котлів подібних корозійних руйнувань немає.

3.2 Методи протикорозійної обробки котлової води

Поживну котлову воду хімічно обробляють як зменшення корозії котлів і допоміжного устаткування, так запобігання освіти на котлових трубах неорганічних відкладень (накипу), які погіршують теплопередачу. Якщо пара використовується для отримання енергії, то необхідно також прагнути зменшення вмісту в

поживній воді кремнію і силікатів. Це зводить до мінімуму віднесення з парою SiO_2 , яка викликає утворення небезпечних відкладень на турбінних лопатках. Для попередження утворення накипу, як правило, необхідно видаляти всі солі кальцію та магнію. Це досягається різними шляхами, наприклад, застосуванням іонообмінних смол і додаванням у воду спеціальних речовин, які сприяють осадженню солей у вигляді шламу, а не суцільного добре зчепленого з поверхнею металу шару накипу.

Основна протикорозійна обробка води включає видалення розчинених газів, додавання луку та інгібіторів. У котлах високого тиску залишковий розчинений кисень у поживній воді повністю реагує з металами котельні, викликаючи піттинг котлових труб і повсюдну загальну корозію. Кисень видаляють деаерацією води парою з подальшим додаванням зв'язуючих кисень речовин, таких як сульфід натрію або гідразин [37].

Оптимальна лужність котлової води залежить частково від того, в якій кількості накопичуються в котлі домішки при повільному просочуванні охолоджувальної води в конденсаторі (зазвичай у місцях кріплення труб до трубних дошок). Ступінь просочування залежить від конструкції та терміну служби конденсаторної системи, і склад охолоджуючої води впливає, таким чином, на надійність роботи котла. Наприклад, хлорид магнію, що є природним компонентом морської води, яка використовується для охолодження конденсаторів, гідролізується до HCl і викликає кислотну корозію котла. Періодичне додавання гідроксиду натрію в котлову воду нейтралізує кислоту і запобігає кислотній корозії.

Інгібітори можна використовувати для запобігання корозії котлів різного тиску та корозії лінії повернення конденсату. Як зазначалося вище, перший вид корозії може бути зведений до мінімуму додаванням фосфатів. Випробування із застосуванням індикатора крихкості показали, що ефективними інгібіторами для цієї мети є таніни, зокрема екстракт з кори квебрахо-дерева, що росте в Південній Америці; його іноді додають у котлові води для попередження утворення накипу.

Контрольні питання до розділу 5

1. Назвіть основні параметри якості моторних оливо.
2. Назвіть компоненти, що зумовлюють високу токсичність оливних відходів залізниць
3. Яких вимог необхідно дотримуватись при зберіганні мастильних матеріалів?
4. Назвіть основні методи відновлення якості відпрацьованих оливо.
5. Які методи еколого-економічного регулювання впливу залізничного транспорту на атмосферу ви можете назвати?
6. На які групи можна розділити речовини, що виділяються при згорянні палива різного якісного складу у двигунах, залежно від механізму їх створення?
7. Які сучасні методи екологізації двигунів локомотивів ви можете назвати?
8. Які методи протикорозійної обробки котлової води існують?

ВИСНОВКИ

У посібнику детально розглянуті основні питання організації процесів екіпірування рухомого складу залізниць, принципи класифікації, ідентифікації та номенклатури основних матеріалів для екіпірування локомотивів, висвітлено принципи класифікації, ідентифікації та номенклатури основних матеріалів для екіпірування локомотивів, а також проаналізовано питання раціонального використання природних ресурсів і впливу на довкілля в цілому.

У першому розділі надано класифікацію, описаний склад і властивості палив. Окремо описані процеси горіння. Охарактеризовано паливо у різних агрегатних станах. Наведено розрахунки витрат і основні положення щодо зберігання.

Наступний розділ присвячений мастильним матеріалам, їх видам, класифікаціям і основним властивостям. Також наведені норми витрат мастильних матеріалів для рухомого складу залізниць.

Третій розділ пов'язаний з питаннями води, її властивостей, особливостей підготовки води для використання на підприємствах залізничної інфраструктури.

У четвертому розділі наведені основні вимоги до піску, надано опис умов його зберігання.

П'ятий розділ вміщує інформацію щодо особливостей впливу залізних підприємств і рухомого складу на навколишнє природне середовище. Зокрема висвітлені питання впливу відходів мастильних матеріалів на довкілля, розглянуті методи відновлення їх первинних властивостей. Проаналізовано вплив залізничного транспорту на атмосферне повітря, розібрано сучасні перспективи екологізації двигунів для тягового рухомого складу. Висвітлено питання щодо процесів корозії котлового обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bezovska M., Zelenko Y. Principles of assessing the resource potential of oil-containing waste of railway infrastructure. *Scientific research in modern conditions of instability: education and pedagogy, philology, psychology and sociology, medicine and healthcare, biology and ecology, agriculture, forestry, fisheries and water management* : monographic series "European Science". Karlsruhe, 2023. Vol. 24 : 3. P. 70–85. URL: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-24-03> (date of access: 15.05.2024).
2. Обладнання для регенерації масла GlobeCore. *GlobeCore Ukraine*. URL: <https://globecore.ua/> (дата звернення: 14.05.2024).
3. Гідравліка Моторімпекс. *Моторімпекс*. URL: <https://motorimpex.ua/ua> (дата звернення: 10.03.2024).
4. Двостінні резервуари для пального та нафтопродуктів. *Petroline – інтернет-магазин паливозаправного обладнання*. URL: <https://petroline.ua/rezervuar-dlia-palnoho-dvostinnyi-5-m/> (дата звернення: 02.05.2024).
5. Технологічні системи очищення води для професіоналів з 1991 року. *Ecosoft Україна*. URL: <https://www.ecosoft.com/ua/home> (дата звернення: 02.04.2024).
6. Водопідготовка EUROWATER. *Pure water treatment by EUROWATER*. URL: <https://www.eurowater.com/ua> (дата звернення: 04.06.2024).
7. Resource Saving and Eco-Friendly Technology for Disposal of Used Railroad Engine Oils / Y. Zelenko et al. *Rocznik Ochrona Srodowiska*. 2020. Vol. 22. P. 171–180.
8. Technological and Ecological Aspects of Disposal of Spent Cutting Fluids / Y. Zelenko et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, no. 4. P. 207–212.
9. Zelenko Y., Bezovska M. Development of an environmentally friendly scheme for the recovery of used engine oils. *New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries* : monograph. 3rd ed. Riga, 2019. P. 143–164. URL: http://www.baltijapublishing.lv/download/all-science-3/all-science_part_3.pdf (date of access: 04.06.2024).
10. Disposal of technological sludge of railway infrastructure enterprises / Y. Zelenko et al. *MATEC Web of Conferences 294, 02006 (2019)* : 2nd International Scientific and Practical Conference “Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport” (EOT-2019), Lviv, 19–20 September 2019. Dnipro, 2019. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201929402006> (date of access: 27.05.2024).
11. Vermeidung von Diesellabgas-Emissionen – Herausforderungen und Lösungsansätze aus Sicht eines Betreibers / N. Dube et al. *ZEVrail*. 2010. Vol. 134, no. 3. P. 76–84.
12. Антипенко, А. М., Сорокін, С. П., Поляков, С. О. Властивості та якість па-

- ливомастильних матеріалів. Харків : ЧП Червяк, 2006. 213 с.
13. Бабанін О. Б., Жалкін С. Г. Організація та технологія екіпірування локомотивів : конспект лекцій. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 42 с.
 14. Безовська М. С. Підвищення рівня екологічної безпеки при поводженні з відпрацьованими нафтопродуктами на залізниці : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Івано-Франківськ, 2014.
 15. Бобирь Д. В., Білоконь І. М., Очкасов О. Б., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги. Тягові розрахунки для маневрової роботи : навч. посіб. / за ред. канд. техн. наук, доц. В. Н. Сердюка ; УДУНТ ; ННІ «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.». Дніпро : Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2023. 130 с.
 16. Бойченко С. В., Любінін Й. А., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олів : навч. посіб. у 2 ч. Одеса : Астропринт, 2009.
 17. Герасимов О. І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища : навч. посіб. / Одеськ. держ. екол. ун-т. Одеса : ТЕС, 2018, 228 с.
 18. ГОСТ 10577-78. Нефтепродукты. Метод определения содержания механических примесей. С Изменениями № 1, 2, 3. На замену ГОСТ 10577-63 ; действующий от 2022-07-10. Изд. официальное. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1978. 15 с.
 19. ГОСТ 12337-84. Масла моторные для дизельных двигателей. Технические условия. С Изменениями № 1 (ИУС № II-86), № 2 (ИУС № II-88), № 3 (ИУС № I-90), № 4 (ИУС № XI-91), № 5 (ИУС № X-95), № 6 (ИУС № ПСЗ-2002). На замену ГОСТ 12337-81 ; действующий от 2024-02-11. Изд. официальное. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1984. 17 с.
 20. ГОСТ 1547-84. Масла и смазки. Метод определения наличия воды. На замену ГОСТ 1548-42, ГОСТ 1547-74 ; действующий от 2022-07-10. Изд. официальное. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1984. 3 с.
 21. ГОСТ 24943-81. Масла моторные. Фотометрический метод оценки загрязненности работавших масел. Действующий от 1982-01-07. Изд. официальное. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1981. 4 с.
 22. ДСТУ 3464-96. Авіаційні палива, мастильні матеріали, технічні рідини. Терміни та визначення. Чинний від 1998-01-01. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1997. 23 с.
 23. ДСТУ 4128:2002. Матеріали мастильні, оливи індустріальні та споріднені продукти (клас L). Класифікація. На заміну ГОСТ 28549.0-90 (ИСО 6743.0-81) ; чинний від 2004-09-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 8 с.
 24. ДСТУ 5094:2008. Нафтопродукти. Оливи мастильні, присадки і пакети присадок. Визначання загального лужного числа методом потенціометричного титрування. Чинний від 2009-03-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

25. ДСТУ 7688:2015. Паливо дизельне Євро. Технічні умови. На заміну ДСТУ 4840:2007 ; чинний від 2016-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 15 с.
26. ДСТУ 7722:2015. Вугілля кам'яне. Метод визначення пластометричних показників. На заміну ГОСТ 1186-87 ; чинний від 2016-08-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 18 с.
27. ДСТУ 9045:2020. Паливо тверде. Методи визначення хімічного складу золи. На заміну ГОСТ 10538-87 ; чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 33 с.
28. ДСТУ 9220:2023. Паливо тверде мінеральне. Методи визначення виходу летких речовин. На заміну ГОСТ 6382-91 ; чинний від 2024-02-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 13 с.
29. ДСТУ ISO 589:2015. Вугілля кам'яне. Визначення загальної вологи (ISO 589:2008, IDT). На заміну ГОСТ 27314-91 (ИСО 589-81) ; чинний від 2016-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 9 с.
30. ДСТУ ISO 80000-1:2016. Величини та одиниці. Частина 1. Загальні положення (ISO 80000-1:2009; ISO 80000-1:2009/Cor.1:2011, IDT). На заміну ДСТУ 3651.0-97, ДСТУ 3651.1-97 в частині розділів 1-6 ; чинний від 2018-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 41 с.
31. ДСТУ ГОСТ 2477:2021. Нафта та нафтопродукти. Метод визначення вмісту води (ГОСТ 2477-2014, IDT). З Поправкою. На заміну ГОСТ 2477-65 ; чинний від 2021-12-15. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 11 с.
32. ДСТУ ГОСТ 31072:2006. Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах АРІ ареометром (ГОСТ 31072-2002, IDT). З поправками. Чинний від 2007-01-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 17 с.
33. ДСТУ ГОСТ 33-2003. Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості (ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94), IDT). На заміну ГОСТ 33-82 ; чинний від 2003-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 23 с.
34. ДСТУ ГОСТ 4333:2018. Нафтопродукти. Методи визначення температур спалаху та займання у відкритому тиглі (ГОСТ 4333-2014, IDT; ISO 2592:2000, MOD). На заміну ГОСТ 4333-87 ; чинний від 2018-10-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 20 с.
35. Європейські стандарти для викидів, що здійснюють дизелі. *DieselNet: Engines & Clean Transportation*. URL: <http://www.dieselnet.com> (дата звернення: 27.05.2024).
36. Зацерклянний М. М., Зацерклянний О. М., Столевич Т. Б. Процеси захисту навколишнього середовища : підручник. Одеса : Фенікс, 2017. 454 с.
37. Зеленько Ю. В. Розвиток методологічних основ ресурсозберігаючих екологічно чистих технологій при експлуатації залізничного транспорту : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.20. Дніпропетровськ, 2015. 456 с.

38. Зеленько Ю. В., Безовська М. С., Лещинська А. Л. Відновлення відпрацьованих компресорних олив залізничних підприємств. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. 2020. № 2–3. С. 9–11.
39. Щодо проблеми відновлення оливних відходів залізниць / Ю. В. Зеленько та ін. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. 2019. № 6. С. 6–9.
40. Institut für Energie- und Umweltforschung. *IFEU gGmbH*. URL: <https://www.ifeu.de/> (date of access: 04.06.2024).
41. Моторні палива: властивості та якість : підручник / С. Бойченко та ін. ; за заг. ред. проф. С. Бойченка. Київ : «Центр учбової літератури», 2017. 324 с.
42. ЦТ-0059. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів. Чинний від 2003-03-05. Вид. офіц. Київ : М-во трансп. України, 2003. 85 с.
43. ЦТ-0099. Методика розрахунку норм витрат дизельного палива і електроенергії на тягу поїздів. Чинний від 2004-06-09. Вид. офіц. Київ : М-во трансп. України, 2004. 62 с.
44. ЦТ-0199. Правила тягових розрахунків для поїзної роботи по електровозах ЧС7, ЧС8, ДЕ1, ДС3, 2ЕЛ5, 2ЕЕС5К, тепловозах ТЕП150, ТЕМ103, дизель-поїздах ДЕЛ-02, електропоїздах ЕПЛ2Т, ЕПЛ9Т. Чинний від 2010-12-22. Вид. офіц. Київ : М-во трансп. України, 2010. 78 с.
45. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення : навч. посіб. / В. Я. Чабаний та ін. Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2005. 449 с.
46. Зеленько Ю. В., Тарасова Л. Д., Безовська М. С. Підвищення рівня екологічної безпеки при поводженні з відпрацьованими моторними оливами залізничної інфраструктури : монографія. Дніпропетровськ : Вид-во «Літограф», 2016. 150 с.
47. Пластичні мастила: властивості та якість : підручник / П. Топільницький та ін. ; за ред. проф. С. Бойченка. Київ : «Центр учбової літератури», 2021. 274 с.
48. Технології захисту навколишнього середовища : підручник / В. Г. Петрук та ін. Херсон : Олді-плюс, 2019. Ч. 1 : Захист атмосфери. 432 с.
49. Технології захисту навколишнього середовища : підручник / В. Г. Петрук та ін. Херсон : Олді-плюс, 2019. Ч. 2 : Методи очищення стічних вод. 298 с.
50. Хімотологія : навч.-метод. посіб. / С. В. Бойченко та ін. Київ : Книжкове вид-во НАУ, 2006. 158 с.
51. Газ природний, палива та оливи : монографія / М. П. Андрієшин та ін. Одеса : Астропринт, 2010. 230 с.

Навчальне видання

*Зеленько Юлія Володимирівна, Капіца Михайло Іванович,
Безовська Марина Сергіївна, Богомолів Андрій Русланович,
Крячко Олександр Валерійович*

ТЕХНОЕКОЛОГІЯ. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕКІПРУВАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Навчальний посібник

Електронне видання

Відповідальний редактор М. С. Безовська

Експертний висновок склала канд. хім. наук, доц. Л. Д. Тарасова

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 764 від 30.10.2024 р.)

Формат 60x84_{1/16}. Ум. друк. арк. 10,0. Обл.-вид. арк. 9,03.
Зам. № 81

Видавець: Український державний університет науки і технологій.
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022