



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ  
УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**ЛОКОМОТИВНІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ  
МАТЕРІАЛИ**

*Навчальний посібник*

**Частина 1**

**ПАЛИВО**

**Харків – 2021**

**УДК 629.41: (075.8)**  
**Л 732**

*Рекомендовано вченою радою Українського державного університету  
залізничного транспорту як навчальний посібник  
(витяг з протоколу № 4 від 20 квітня 2021 р.)*

**Рецензенти:**

доктори техн. наук професори В. Г. Маслієв (НТУ «ХП»),  
О. С. Полянський (ХНАДУ)

**Авторський колектив:**

Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін, В. Г. Пузир, О. О. Анацький

**Л 732** Локомотивні експлуатаційні матеріали: навч. посіб. Ч. 1. Паливо /  
Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін, В. Г. Пузир, О. О. Анацький; за заг. ред.  
проф. С. Г. Жалкіна. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 106 с., рис. 18,  
табл. 16.

ISBN

Навчальний посібник містить основні теоретичні відомості про нафту й нафтопродукти, паливо, його класифікацію, склад і властивості. Надано поняття триботехніки, трибології та хімотології. Подано інформацію про основні фізико-хімічні властивості бензинів і дизельного палива, вимоги до їхньої якості й умов застосування. Надано характеристики, асортимент та умовне позначення дизельних палив, що застосовуються, як вітчизняних, так і зарубіжних. Наведено інформацію щодо застосування присадок і домішок до палива, їхній асортимент і призначення.

Розглянуто проблему можливості та доцільності застосування альтернативних палив, таких як природні та інші гази, спирти, ефіри, біопалива, водень тощо. Проаналізовано позитивні та негативні наслідки для ДВЗ та навколишнього середовища.

Навчальний посібник призначений для студентів першого рівня вищої освіти – бакалавр спеціальності 273 «Залізничний транспорт», які навчаються за освітньо-професійними програмами «Локомотиви та локомотивне господарство», «Високошвидкісний рухомий склад», «Автомотриси, автодрезини та спеціальні машини залізничного транспорту», «Діагностування та неруйнівний контроль рухомого складу залізниць» усіх форм навчання і вивчають курси «Локомотивні експлуатаційні матеріали» та «Експлуатаційні матеріали рухомого складу залізниць».

УДК 629.41: (075.8)

© Жалкін Д. С., Жалкін С. Г., Пузир В. Г.,  
Анацький О. О., 2021.

© Український державний університет  
залізничного транспорту, 2021.

ISBN

## ЗМІСТ

Вступ	4
1. Паливо. Класифікація, склад і властивості палив	5
2. Загальні відомості про нафту і нафтопродукти	11
3. Сучасні методи переробки нафти й вироблення палив та олив	20
4. Трибологія, триботехніка, хімотологія	28
5. Хімотологія бензинів. Основні характеристики й властивості бензинів	31
6. Асортимент зарубіжних автомобільних бензинів	39
7. Хімотологія дизельних палив. Загальні властивості	40
8. Асортимент, основні показники якості та склад вітчизняних дизельних палив	50
8.1. Вимоги до палив дизелів локомотивів вітчизняного виробництва	54
9. Асортимент зарубіжних дизельних палив	55
9.1. Вимоги до палив дизелів локомотивів зарубіжного виробництва	56
10. Смоло- і нагароутворення в ДВЗ	59
11. Поліпшення якості нафтових палив	64
12. Альтернативні види палива	72
13. Правила поводження з паливом	98
Питання для модульного контролю	101
Бібліографічний список	105

## ВСТУП

Автономний рухомий склад (локомотиви, дизель-поїзди, рейкові автобуси, автомотриси), незалежно від призначення та роду служби, є основним споживачем палив, мастильних матеріалів (моторних олив, пластичних мастил), технічних рідин (охолоджувальних і гідравлічних), піску та полімерних матеріалів.

За останні роки значно посилилися вимоги до цих матеріалів, особливо з екологічної точки зору. Це викликано старінням вітчизняного парку локомотивів, використанням іноземного рухомого складу, збільшенням потужності енергетичних установок і швидкості руху тощо.

У наш час накопичено науковий досвід у виробництві та використанні експлуатаційних матеріалів, суттєво змінилася їхня номенклатура, асортимент і якість. Найочевиднішими є зміни, що відбулися у створенні високоефективних сортів паливно-мастильних матеріалів.

У навчальному посібнику основну увагу приділено теоретичним основам і практичним навичкам використання експлуатаційних матеріалів. Розглянуто їхні основні фізико-хімічні та експлуатаційні властивості, особливості раціонального, економічного і безпечного використання. У першій частині посібника значну увагу приділено вимогам до палива, відомостям про отримання рідких і газоподібних палив з нафти і нафтової сировини, процесам горіння палива.

Відповідно до програми дисциплін «Локомотивні експлуатаційні матеріали» та «Експлуатаційні матеріали рухомого складу» у навчальному посібнику особливу увагу приділено технічно обґрунтованому підбору нафтопродуктів, що використовуються, методам оцінювання їхньої якості і класифікації залежно від конструкції, виду роботи й умов експлуатації рухомого складу.

Навчальний посібник є результатом узагальнення досвіду викладання цих дисциплін в Українському державному університеті залізничного транспорту та інших закладах вищої освіти України та світу, він також відображує сучасні досягнення вітчизняної та зарубіжної науки і виробничої практики в галузі використання експлуатаційних матеріалів для рухомого складу залізниць.

## 1. Паливо. Класифікація, склад і властивості палив

Паливом називають горючі речовини, здатні при спалюванні виділяти теплову енергію, яку використовують для технічних і господарських цілей. Залежно від фізичного стану паливо може бути *твердим, рідким і газоподібним* [12].

*До твердого палива* належать природне – дрова, торф, буре і кам'яне вугілля, напівантрацит, антрацит, сланці, бітумінозні піски; штучне – деревне вугілля, торф'яний, буровугільний і кам'яновугільний напівкокс, кокс, термоантрацит, брикети торф'яні, деревні і вугільні, промислові і комунальні відходи.

*До рідкого палива* належать природне – нафта і газовий конденсат; штучне – бензин, гас, дизельне паливо, мазут, смола, сланцева олива, етанол.

*До газоподібного палива* належать природне – природний, нафтопромисловий, попутний і шахтний газ; штучне – нафтозаводський, зріджений, коксівний, водяний, змішаний генераторний, освітлювальний, доменний і вагранковий газ, а також водень і газ процесів бродіння біомаси.

Паливо складається з горючої маси і баласту (негорючих домішок). При всій різноманітності властивостей різних видів палива горюча маса включає від двох до п'яти елементів: вуглець  $C$ , водень  $H$ , кисень  $O$ , азот  $N$  і сірку  $S$ . Від співвідношення цих елементів у горючій масі і вмісту в паливі баласту (вологи  $W$  і мінеральних домішок  $A$ ) залежать його основні теплотехнічні і технологічні характеристики. Склад твердого і рідкого палива виражають у відсотках за масою, а газоподібного – у відсотках за об'ємом [15, 19].

*Вуглець* є найважливішим компонентом горючої маси палива. Вміст вуглецю в горючій масі різних видів палива коливається від 50 до 99 % (табл. 1.1).

Кількість тепла, що виділяється при згоранні 1 кг вуглецю, може бути прийнята в середньому рівною 8100 ккал або в одиницях СІ – 33900 кДж тепла (за СІ 1 кал дорівнює 4,1868 Дж).

*Водень* – другий за значенням компонент палива. Вміст водню в горючій масі різних видів палива подано в табл. 1.1. При згоранні 1 кг газоподібного водню виділяється 142000 кДж з утворенням води. Отже, при згоранні 1 кг газоподібного водню

виділяється в 4,2 разу більше тепла, ніж при спалюванні 1 кг вуглецю. Звичайно, що теплота згорання палива значно зростає з підвищенням вмісту в ньому водню.

Таблиця 1.1

Склад горючої маси палив

Паливо	Вміст, %		
	вуглецю	водню	кисню
Дрова	50	6	42
Торф	54-63	6	33
Кам'яне вугілля	75-90	4-6	2-15
Бензин	85	15	0
Дизельне паливо	87	13	0
Природний газ	75	25	0
Мазут	87-88	11-12	0-0,2

*Кисень* знаходиться в паливі у зв'язаному стані, участі в горінні не бере і є небажаною складовою, оскільки зі збільшенням його вмісту зменшується горюча частина палива. Вміст його в горючій масі різних видів палива (округлено) подано в табл. 1.1. Вміст 1% кисню в горючій масі палива знижує його теплоту згорання внаслідок часткового окиснення вуглецю і водню в середньому на 108 кДж/кг.

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

*Сірка* у твердому паливі міститься в трьох видах: органічна, колчеданна (піритова) і сульфатна. При підрахунках теплоти згорання твердого і рідкого палива можна прийняти, що 1 кг горючої сірки виробляє в середньому близько 11000 кДж тепла.

Загальний вміст сірки в горючій масі вугілля доходить до 6...7%. У рідкому паливі вона зустрічається у вигляді вільної сірки і у вигляді органічних сполук. Вміст сірки в нафтах складає від 0,1 до 3,5%. До газоподібного палива сірка входить у вигляді

сірководню  $H_2S$  і частково сірковуглецю  $CS_2$  та інших органічних сполук. Сірка різко знижує цінність палива. При високому вмісті горючої сірки, наприклад у котельному паливі, димові гази сильно забруднені сірчистим ангідридом  $SO_2$ , шкідливо діють на металеві поверхні і рослинність.

Характерним показником складу палива є *вихід летких речовин* і коксу. Вихід горючих речовин від горючої маси дров складає 85 %, сланців – 80 %, торфу – 70 %, бурого вугілля – 40...60 %, кам'яного вугілля – 10...40 %. За виглядом і міцністю коксу судять про іншу важливу властивість твердого палива – його *спікливість*.

*Спікливість палива* визначає можливість коксування вугілля і способи його спалювання на колосникових решітках. При шаровому спалюванні в топках палива, що не спікається, спостерігається велике винесення частинок палива з шару, а також значні втрати з провалом через колосникові решітки.

Фізичний стан палива визначається наявністю в паливі мінеральної маси (внутрішні і зовнішні домішки), яка при згоранні зазнає ряду змін, а негорючий залишок утворює золу (баласт).

*Волога в паливі* є також баластом. На випарювання вологи непродуктивно витрачається частина тепла, що виділяється паливом при згоранні. Розрізняють вологу зовнішню  $W_{\text{вн}}$  і внутрішню, або гігроскопічну  $W_{\text{гігр}}$ . Вони разом складають загальну, або робочу, вологу  $W_p$ . Зовнішня волога порівняно легко видаляється з палива висушуванням. Внутрішня ж волога пов'язана з органічними речовинами палива і його мінеральними домішками. У рідкому паливі міститься тільки зовнішня волога в краплинно-рідкому стані й у вигляді емульсій. Вміст вологи в паливі коливається від часток відсотка в рідкому паливі до 30 % у бурому вугіллі і до 50 % і більше у вологих дровах і свіжодобутому торфі.

Важливими показниками складу та якості палива є температури спалаху, займання, горіння і самозаймання [24].

*Температурою спалаху* називається температура, при якій паливо, що нагрівається в стандартних умовах, утворює з навколишнім повітрям суміш, яка спалахує при піднесенні до неї полум'я.

*Температурою займання* називається температура, при якій паливо, що нагрівається в стандартних умовах, спалахує піднесенні до нього полум'я і горить не менше 5 с.

Для рідкого палива при застосуванні його в дизелях основне значення має *температура самозаймання*, тобто та найнижча температура, при якій паливо спалахує без дії якого-небудь стороннього джерела займання.

Під *температурою горіння* розуміється температура, до якої нагріваються газоподібні продукти згорання за рахунок тепла, що виділяється при горінні. Розрізняють температуру горіння теоретичну і дійсну – за відсутності втрат від теплообміну і з урахуванням таких втрат. Теоретично температура горіння для рідкого палива складає 1800-2000 °С. Дійсна температура горіння завжди нижча за теоретичну. Початок горіння може статися в результаті самозаймання або при підпалі палива.

Одним з основних показників при оцінюванні теплових властивостей палива є *теплота згорання*  $Q$ . Теплота згорання, або теплотвірна здатність (теплоутворення) палива, – це кількість тепла, що виділяється при повному згоранні 1 кг (кДж/кг) або 1 м<sup>3</sup> (кДж/м<sup>3</sup>) палива. При визначенні *найвищої теплоти згорання*  $Q_v$  враховується вся теплота, що виділяється при згоранні палива. При визначенні *найнижчої теплоти згорання палива*  $Q_n$  не враховується теплота, що витрачається на випарювання вологи палива і вологи, отриманої при спалюванні водню.

Найвища теплота згорання є найбільш постійною величиною, тому вона використовується для порівняння різного палива. Найнижча теплота згорання залежить від вмісту в паливі вологи, тому вона застосовується для практичного оцінювання теплової цінності палива.

Найвища питома теплота згорання рідкого і твердого палива визначається експериментально або обчислюється розрахунковим шляхом за формулою Д. І. Менделєєва, кДж/кг,

$$Q_v = 396C + 1256H - 109(O - S), \quad (1.1)$$

де С, О, S – вміст у паливі вуглецю, кисню і сірки, %.



У свою чергу найнижча питома теплота згорання визначається як різниця, кДж / кг,

$$Q_H = Q_B - 25(9H + W),$$

де  $H$  і  $W$  – вміст у паливі водню та води, %.

Середні величини найнижчої теплоти згорання робочого палива подано в кілоджоулях (кДж): дрова – 35590; бензин – 43754; дизельне паливо – 42624; мазут сірчистий – 38855.

*Умовне паливо* – еталон для зіставлення окремих видів палива за їхньою теплотою згорання. Теплота згорання умовного палива прийнята 29307 кДж/кг (7000 ккал/кг), що відповідає приблизно теплоті згорання вугілля середньої якості [14].

*Натурне паливо* – фізично використовуване паливо. Для порівняння різних марок дизельного (натурного) з іншими видами палива порівнюють фактичну теплоту згорання дизельного палива  $E_H$  з теплотою згорання умовного палива  $E_U$ . Відношення  $E_H/E_U$  називають *технічним еквівалентом палива*. Середнє значення  $E_H=41880$  кДж/кг.

Залежно від сфери застосування розрізняють такі види рідкого палива [3, 8, 15, 24]:

- бензини – для авіаційних та автомобільних двигунів;
- паливо дизельне – для швидкохідних, середньооборотних і стаціонарних двигунів;
- паливо газотурбінне – для авіаційних, транспортних і стаціонарних двигунів;
- паливо для транспортних і стаціонарних котельних установок і промислових печей – мазут флотський, мазут топковий, паливо для мартенівських печей;
- паливо для комунально-побутових цілей – гас освітлювальний, паливо пічне побутове.

На неелектрифікованих ділянках для перевезення вантажів і пасажирів застосовуються тепловози [22], дизель-поїзди та рейкові автобуси. Маневрова робота виконується також тепловозами. Живлення ДВЗ тепловозів і дизель-поїздів виконується дизельним паливом. У локомотивному господарстві (ЛГ) застосовується також бензин (автомобілі та автобуси), кам'яне вугілля та природний газ для опалення приміщень і

технологічних потреб, сушіння піску. Найбільша кількість енергоносіїв в ЛГ припадає на дизельне паливо.

На електрифікованих дільницях залізниць застосовуються електровози та електропоїзди, які живляться електроенергією як змінного, так і постійного струму, що виробляється гідроелектростанціями, АЕС, ТЕС і тепловими станціями. На останніх використовується в основному кам'яне вугілля та природний газ.

У подальшому детальніше розглянемо властивості і склад бензину та дизельного палива.

## 2. Загальні відомості про нафту і нафтопродукти

Нафта відома людству з найдавніших часів. Розкопки на березі Євфрату показали існування нафтового промислу за 4-6 тис. років до нашої ери. Тривалий час людина використовувала нафту в такому вигляді, у якому знаходила її в природі, застосовуючи її для освітлення, розпалювання вогнищ і з лікувальною метою. Тільки на початку ХХ ст., коли нафту і нафтопродукти стали використовувати як паливо для парових котлів і двигунів внутрішнього згорання, її значення різко зросло. Понад 2 тис. років тому нафту почали застосовувати в будівництві, військовій справі, медицині, для освітлення житла і маяків.

В Україні нафта була виявлена в копаних колодязях і грязьових вулканах на Керченському півострові ще в III ст. до н. е., а у XVIII ст. в Галичині було відомо про «скельну олію», тобто нафту. Питання про походження нафти суперечливе.

Початкові речовини для утворення нафти – органічні сполуки, що є продуктами розпаду рослинних і тваринних організмів. Цей розпад відбувався головним чином під дією бактерій. Органічні сполуки, що утворилися в процесі розпаду, накопичувалися в осадових відкладеннях у прибережно-морських зонах, до яких додавалися аналогічні речовини з суші, перенесені водними потоками.

Упродовж подальших геологічних періодів при зануренні морського дна і переміщенні осадових порід органічна речовина, що міститься в них, під дією тепла і тиску частково розпадалася і перетворювалася на газоподібні і рідкі вуглеводні нафти. Таким чином, склад і властивості нафти залежать від характеру початкової органічної речовини, навколишніх порід, часу та ряду інших умов.

Нафта залягає в надрах землі на різних глибинах, а в деяких місцях виходить на поверхню. Добувають нафту з пласта шляхом буріння свердловин, з яких вона подається на поверхню землі, компресорним або глибинно-насосним способом, фонтаном.

Фонтанним способом нафту добувають тільки безпосередньо після проходки свердловини, коли вона витісняється зі свердловини тиском газів. Зі зменшенням цього

тиску фонтанування нафти спочатку слабшає, а потім абсолютно припиняється. У цьому випадку вдаються до компресорного або насосного способу видобутку.

При компресорному способі підймання нафти з пласта здійснюється шляхом нагнітання у свердловину стисненого повітря або газу. При глибинно-насосному способі нафта піднімається з пласта за допомогою спеціальних глибинних насосів.

Основним способом видобутку нафти вважається фонтанний. Враховуючи його ефективність і дешевизну, нині вдаються до штучного подовження фонтанування свердловин підтримкою тиску в нафтовому пласті. З цією метою в нафтовий пласт накачують воду. Таким чином підвищується не лише тривалість фонтанування свердловин, але і досягається якнайповніше витягання нафти з надр землі.

Видобуток нафти постійно удосконалюється. У ХХІ ст. освоєно видобуток газу і нафти зі сланцевих порід (США щорічно викачують до 680 млрд м<sup>3</sup> сланцевого газу – це більше об'єму видобутку природного газу в Росії). Нафту добувають з глибини 11-12 км (у Мексиканській затоці), і з'являються нові технології, які дозволяють реанімувати старі родовища. Є світові резерви – в одній тільки Арктиці зосереджено близько 100 млрд т нафти і газу (це в три рази більше за розвідані запаси Саудівської Аравії).

Нафтовидобувна промисловість України налічує більш як 230-річну історію і є однією з найстаріших не тільки в Європі, а й в усьому світі. Видобуток нафти в Україні почалося в 1771 р. на Коломиївщині. Буріння перших свердловин ударним способом у м. Бориславі в 1886 р. дало початок бурхливому зростанню видобутку нафти, який уже того самого року становив 37,7 тис. т. Після Другої світової війни відкриття Дніпровсько-Донецької западини стимулювало бурхливе освоєння нафтогазових родовищ. Вже в 1972 р. в Україні було видобуто 14,4 млн т нафти.

Сьогодні в Україні існує три нафтогазоносні регіони [12, 15, 19]: Східний (Дніпровсько-Донецький), Західний (Карпатський) і Південний (Причорноморсько-Кримський), у яких відкрито 302 родовища нафти й газу, з них 26 великих і 30 середніх. Недорозвинені ресурси нафти з конденсатом становлять більш як 1 млрд т і є ресурсною базою геологорозвідувальних робіт у

найближчі роки. Нині в Україні нафту переробляють на шести нафтопереробних заводах (НПЗ): Дрогобицькому, Надвірнянському, Одеському, Херсонському, Кременчуцькому та Лисичанському.

#### *Основні фізичні властивості та хімічний склад нафти*

Нафта – це густа масляниста рідина зі специфічним запахом, що становить складну суміш парафінових, нафтенових і ароматичних вуглеводнів. Вміст вуглецю – приблизно 82...87 %, водню – 11,5...14,5 %. Як домішки (4...5 %) у нафті є сполуки, що містять кисень, сірку й азот, смолисті речовини й асфальтени.

Вміст сірки може складатися від десятих часток відсотків (малосірчисті нафти) до 3...7 % (високосірчисті нафти). У нафті одного родовища вміст сірки тим більше, чим вище температура кипіння вуглеводнів, що входять до її складу. У малосірчистій нафті, наприклад кавказького родовища, вміст сірки рідко перевищує 0,5 %, зазвичай він менше 0,1 % (Сураханська нафта). Волзькі та Уральські родовища, багато середньоазіатських нафт містять 1,5...3 % сірки, а іноді до 5 %. У нафті сірка може знаходитися як у вільному, так і зв'язаному стані. У невеликих кількостях вона може міститися в мінеральній частині у вигляді сульфатів металів.

Вміст кисню зазвичай не перевищує 1 %. Він знаходиться у складі нафти у вигляді органічних кислот, фенолів і смол. У ще менших кількостях зустрічаються азот і мінеральні речовини. Азотисті сполуки термічно стабільні і не мають помітного впливу на експлуатаційні властивості нафтопродуктів. Проте при зберіганні дизельних палив вони викликають посилене смолоутворення. Вміст азоту коливається від 0,03 до 1,7 %.

Фізичні властивості нафти визначаються такими показниками, як густина, в'язкість, температура спалаху, займання, самозаймання і застигання, теплота згорання, а також фракційний склад [24]. Ці властивості залежно від хімічного складу нафти змінюються в дуже широких межах.

*Густиною нафти* прийнято умовно називати відношення маси певного об'єму нафти, взятого при температурі 20 °С, до маси такого самого об'єму води, що має температуру 4 °С. Густина нафти коливається в межах 0,75-1,00. Буває густа нафта з густиною дещо більше одиниці і легка нафта з густиною менше

0,75. У нафті, густина якої нижче 0,87, багато бензину і гасу. Важка нафта з густиною більше 0,88 містить багато смол. Одиниця густини в СІ — кілограм на кубічний метр ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Від густини залежить в'язкість, тобто рухливість нафти.

*В'язкість (внутрішнє тертя)* – це властивість рідини чинити опір дії зовнішніх сил, що переміщують один її шар відносно одного. В'язкість – це прояви внутрішньомолекулярного тертя, тобто той опір, який чинять частинки рідини їхньому взаємному переміщенню під дією зовнішньої сили. В'язкість буває абсолютною, коли оцінюються внутрішні властивості рідини, та умовною. Абсолютна в'язкість поділяється на динамічну, кінематичну та умовну.

Динамічна в'язкість – коефіцієнт внутрішнього тертя, виражається в паскаль-секундах ( $\text{Па}\cdot\text{с}$ ), це той опір, який чинять взаємному переміщенню частинки, якщо два паралельних шари рідини площею в  $1\text{ м}^2$ , розташовані на відстані  $1\text{ м}$  один від одного за нормаллю, переміщуються зі швидкістю  $1\text{ м}/\text{с}$  під дією зовнішньої сили  $1\text{ Н}$ :  $1\text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = 1\text{ Па}\cdot\text{с}$ . Динамічну в'язкість вимірюють капілярним або ротаційним віскозиметром.

Динамічну в'язкість розраховують,  $\text{мПа}\cdot\text{с}$ , як

$$\eta_t = c\tau\rho, \quad (2.1)$$

де  $c$  - постійна віскозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$ ;

$\tau$  - час витікання рідини,  $\text{с}$ ;

$\rho$  - густина палива,  $\text{мг}/\text{мм}^3$ .

Кінематична в'язкість – питомий коефіцієнт внутрішнього тертя, відношення динамічної в'язкості до густини, при тій самій температурі. Одиниця вимірювання –  $\text{м}^2/\text{с}$  або  $\text{мм}^2/\text{с} = 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$ , оскільки стара одиниця кінематичної в'язкості сантистокс ( $\text{сСт}$ ), то  $1\text{ сСт} = 1\text{ мм}^2/\text{с}$ . Кінематичну в'язкість дизельного палива визначають за допомогою капілярних віскозиметрів ВПЖ-1, ВПЖ-2, ВПЖ-4, ВПЖТ-4.

Загальний вигляд віскозиметра показано на рис. 2.1.

Визначення кінематичної в'язкості в капілярних віскозиметрах засновано на тому, що в'язкість рідин прямо пропорційна часу протікання однакових їхніх кількостей через капіляр, який забезпечує ламінарність потоку.

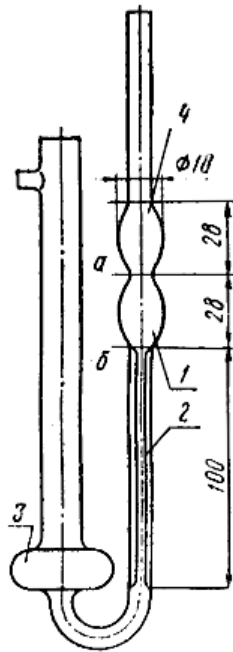


Рис. 2.1. Схема капілярного віскозиметра:  
1, 3, 4 – ємності для палива; 2 – капіляр

Умовна в'язкість (УВ) – безрозмірна величина, яка показує, в скільки разів в'язкість нафтопродукту за температури вимірювання більша чи менша від в'язкості води за температури 20 °С. Умовну в'язкість виражають в умовних градусах (°УВ), які відповідають градусам Енглера. Для визначення кінематичної в'язкості за умовною використовують вираз

$$\varrho = 0,078BU = \frac{0,63}{BU} \quad (2.2)$$

*Температура спалаху* характеризує вогнебезпечність нафтопродукту: чим нижче температура спалаху, тим більше він вогнебезпечний.

*Температура займання* – це температура, при якій нафтопродукт, що нагрівається у встановлених стандартом умовах, 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, при якій 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 вищих температурах вона застигає.

*Теплота згорання  $Q$*  –кількість теплоти, що виділяється під час повного згорання палива (твердого, рідкого або газоподібного). Одиниця теплоти згорання в СІ – джоуль (Дж).

Розрізняють вищу, нижчу питому та об'ємну теплоту згорання.

Вища теплота згорання – кількість теплоти, що утворюється при згоранні 1 кг палива з урахуванням тепла, яке виникає за конденсації парів води.

Нижча теплота згорання –кількість теплоти, що менша за вищу теплоту, витрачувана на випаровування води, яка виникає при спалюванні палива.

Питома теплота згорання – кількість теплоти, що виділяється під час згорання 1 кг рідкого й твердого палива. Найбільшу питому теплоту згорання має водень 141 800 кДж/кг; для вуглецю  $Q = 34\ 100$  кДж/кг.

Об'ємна теплота згорання – кількість теплоти, що виділяється під час згорання 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива. Вона зростає від парафінових вуглеводнів до нафтових та ароматичних у зв'язку зі збільшенням їхньої густини. Теплота згорання різної нафти коливається у відносно невеликих межах: 41800...46000 кДж/кг.

*Фракційний склад* дає характеристику нафті і показує кількість складових частин (фракцій), що википають у певних температурних інтервалах. У першу чергу при нагріванні википають легкі фракції, оскільки вони мають нижчу температуру кипіння. При подальшому підвищенні температури википають важкі фракції.

Якість нафт регламентується чинними стандартами і технічними умовами. Залежно від ступеня підготовки встановлено три групи нафт (I, II і III): I – легкі (до 850 кг/м<sup>3</sup>); II – середні (від 851 до 835 кг/м<sup>3</sup>); III – важкі (більше 885 кг/м<sup>3</sup>), які мають відповідати діючим нормам:

- від масової частки сірки та густини при 20 °С нафти поділяються на класи та групи;



- густини ( $\text{кг/м}^3$ ) при  $20\text{ }^\circ\text{C}$  кожний клас нафти поділяється на три типи:

Умовне позначення нафт складається з трьох цифр, які відповідають класу, типу та групі. Наприклад, нафту з масовою часткою сірки  $0,96\%$  (клас 2), густиною  $842,6\text{ кг/м}^3$  (тип 1), концентрацією хлористих солей  $72\text{ мг/дм}^3$  та масовою часткою води  $0,3\%$  (група I) позначають як 2.1.1.

*Груповий хімічний склад нафти* характеризується тим, що основну масу нафти складають вуглеводні чотирьох головних груп: парафінові (алкани), нафтеніві (циклани), ароматичні (арени) і змішані. Щоб оцінити якість палива, мастильної оливи або пластичного мастила, необхідно знати властивості і кількість вуглеводнів, що входять до нафтопродукту.

Парафінові вуглеводні (рис. 2.2) складаються з молекул у вигляді відкритих ланцюжків атомів, довжина яких визначається кількістю атомів вуглецю. Кожен атом (окрім кінцевих) вуглецевого скелета такого ланцюга має два приєднані атоми водню, утворюючи разом з ним метиленову групу  $\text{CH}_2$ . Кожен кінцевий атом вуглецю має три приєднані атоми водню, утворюючи з ним метильну групу  $\text{CH}_3$ .

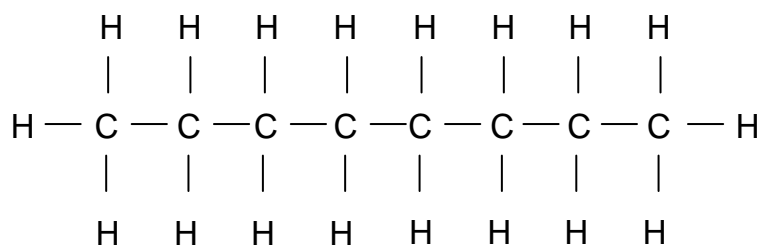


Рис. 2.2. Структура молекули парафінового вуглеводню

Парафінові вуглеводні є відкритими метиленовими ланцюжками з метильними групами на кінцях. Загальний вміст парафінових вуглеводнів у нафтах і продуктах їхньої переробки складає близько  $50\text{...}60\%$ .

Нафтеніві вуглеводні складаються з молекул у вигляді кілець (циклів), утворених метиленовими групами  $\text{CH}_2$  (рис. 2.3).

З порівняння рис. 2.2 і 2.3 видно, що нафтеніві кільця можна розглядати як замкнені метиленові ланцюжки. Зважаючи на таку схожість структури, нафтеніві вуглеводні за своїми

фізико-хімічними властивостями близькі до парафінових. У нафті вміст нафтенівих вуглеводнів зазвичай складає 20-30 %.

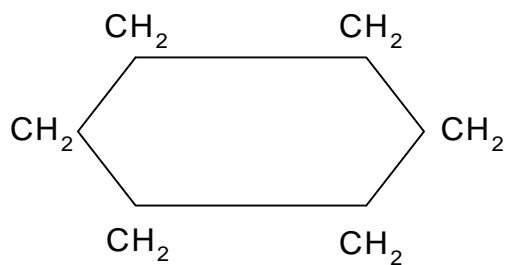


Рис. 2.3. Структура молекули нафтенового вуглеводню

Ароматичні вуглеводні  $C_nH_n$  характеризуються, як і нафтеніві, циклічною будовою (рис. 2.4). Вони мають у кожному кільці шість атомів вуглецю, але складаються не з метиленових груп  $CH_2$ , а з груп  $CH$ . Цим пояснюються менша стабільність і деякі інші особливості ароматичних вуглеводнів, у тому числі кращі мастильні властивості порівняно з парафіновими і нафтенівими. У нафті вміст ароматичних вуглеводнів складає від 10 до 30 %.

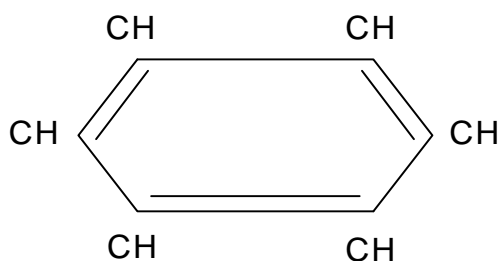


Рис. 2.4. Структура молекули ароматичного вуглеводню

Разом з розглянутими індивідуальними вуглеводнями до складу нафти входить значна, зазвичай навіть переважна, кількість вуглеводнів змішаної будови, що є різними комбінаціями індивідуальних вуглеводнів трьох розглянутих груп.

Зображена на рис. 2.5 молекула змішаного вуглеводню складається з нафтенівих «кілець» (з п'ятьма або шістьма атомами вуглецю) з парафіновими бічними ланцюжками (їх кількість, довжина та розгалуженість можуть бути різними).

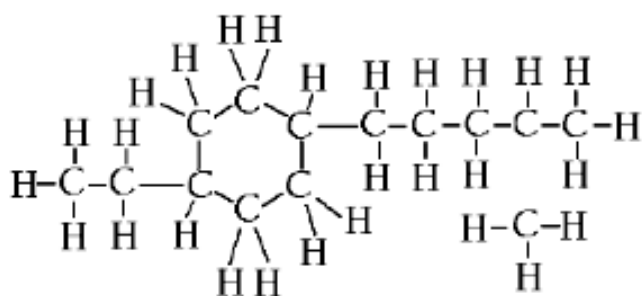


Рис. 2.5. Структура молекули вуглеводню змішаного типу

Паливо й оливи, що виробляються з нафти, є дуже складною сумішшю різних класів вуглеводнів і їхніх похідних. У невеликій кількості в них можуть міститися насичені та ненасичені вуглеводні, сірчисті, кисневі й азотисті речовини.

У процесі переробки нафти майже завжди утворюються ненасичені (неграничні) вуглеводні (алкени, олефіни), наприклад бутен, бутадієн. Ці сполуки дуже нестійкі, їм притаманні реакції приєднання. Вони легко окиснюються, утворюючи смоли, органічні кислоти тощо. Ненасичені вуглеводні схильні також до реакції приєднання та конденсації, внаслідок яких у нафтопродуктах, особливо в паливі, накопичуються смолисто-асфальтенові сполуки, що різко погіршують їхні властивості. Отже, ненасичені вуглеводні небажані в усіх нафтопродуктах, їх зазвичай видаляють під час очищення в процесі добування.

Головну масу неуглеводневих сполук у нафті складають асфальтосмолисті речовини і нафтеніві кислоти, які є рідкими маслянистими, а іноді твердими речовинами, що погано розчиняються у воді і мають неприємний запах. Наявність нафтенівих кислот у паливі і оливах небажана, оскільки вони, реагуючи з металами, утворюють солі, що призводить до корозії деталей двигуна. Асфальтосмолисті речовини належать до складних хімічних сполук, до молекули яких, окрім вуглецю і водню, може входити кисень, азот і сірка. Вони легко змінюються на повітрі, а також при дії температури. Від наявності асфальтосмолистих речовин у нафтопродуктах збільшується нагароутворення на деталях двигуна, що призводить до коксоутворення. Окрім органічних сполук, нафта містить мінеральні домішки: пісок, глину, пил, а також воду. У дуже незначних концентраціях у нафті зустрічаються калій, натрій, нікель, залізо та ін. Загальний вміст металів не перевищує 0,02 % маси нафти.

### 3. Сучасні методи переробки нафти й вироблення палив та олив

У сучасних умовах нафтопродукти виробляються переважно двома способами: фізичним і хімічним [19, 24]. Фізичний спосіб є процесом прямої фракційної перегонки нафти, який протікає без порушень структури вуглеводнів кінцевого продукту і початкової сировини. Хімічний спосіб означає деструктивну переробку нафти, коли за рахунок змін структури вуглеводнів високомолекулярної початкової сировини виходять легкі паливні фракції.

Сучасний процес переробки нафти включає підготовку нафти до переробки (зневоднення, знесолювання, вилугування та ін.), її переробку і хімічне очищення отриманих дистилатів.

*Первинна переробка нафти.* Процес вироблення палив та олив ґрунтується на тому, що вуглеводні, які входять до складу нафти, мають різні фізичні й хімічні властивості, у тому числі різні температури кипіння. Останню особливість і покладено в основу первинної переробки нафти – прямої перегонки, тобто розділення нафти на окремі частини, або фракції, нагріванням, у результаті чого утворюється парова фаза, що відрізняється за складом від рідини. При цьому вуглеводневий хімічний склад не змінюється.

Перегонкою нафти одержують бензин, лігроїн, гас, дизельне паливо тощо. Залишок після перегонки – це мазут (рис. 3.1).

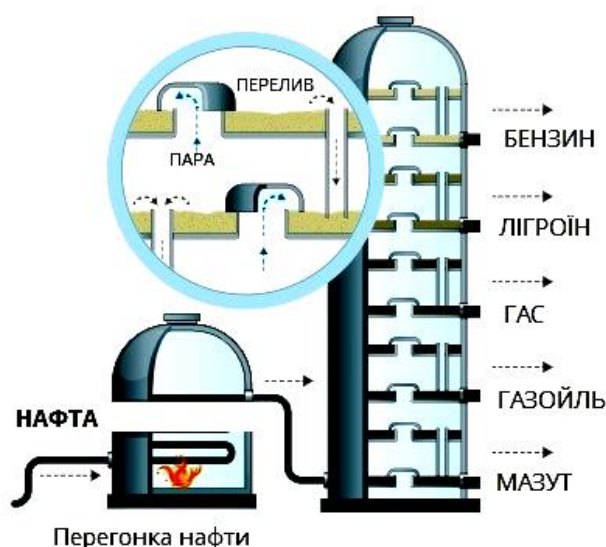


Рис. 3.1. Схема прямої перегонки нафти

Переганяють нафту в спеціальних ректифікаційних колонах (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Технологічна установка на сучасному нафтопереробному заводі

Технологічний процес перегонки нафти полягає в такому: сиру нафту (зневоднену) у спеціальних установках насосами прокачують через ряд теплообмінників, піддають попередньому підігріванню. З теплообмінників нафта надходить у трубчасту піч, де нагрівається до температури 320-360 °С. Далі вона надходить у колону ректифікації, у якій відбираються фракції за температурою кипіння. Колона має усередині ряд полиць – тарілок з отворами, накритими спеціальними ковпачками. Пари легших вуглеводнів (бензину) піднімаються вгору, а пари важчих (лігроїну, гасу і дизельного палива) розташовуються в колоні нижче в порядку зростання температури їх кипіння.

Пари бензину, реактивного і дизельного палива конденсуються, тобто перетворюються на рідину, яка на відповідних рівнях відводиться з колони. На нижні тарілки стікає залишок нафти, що не випарувався, – мазут, який служить сировиною для отримання рідких олив. Такий процес випарювання рідини і конденсації її пари називається прямою перегонкою, або дистиляцією, а продукти перегонки – дистилятом (рис. 3.3).

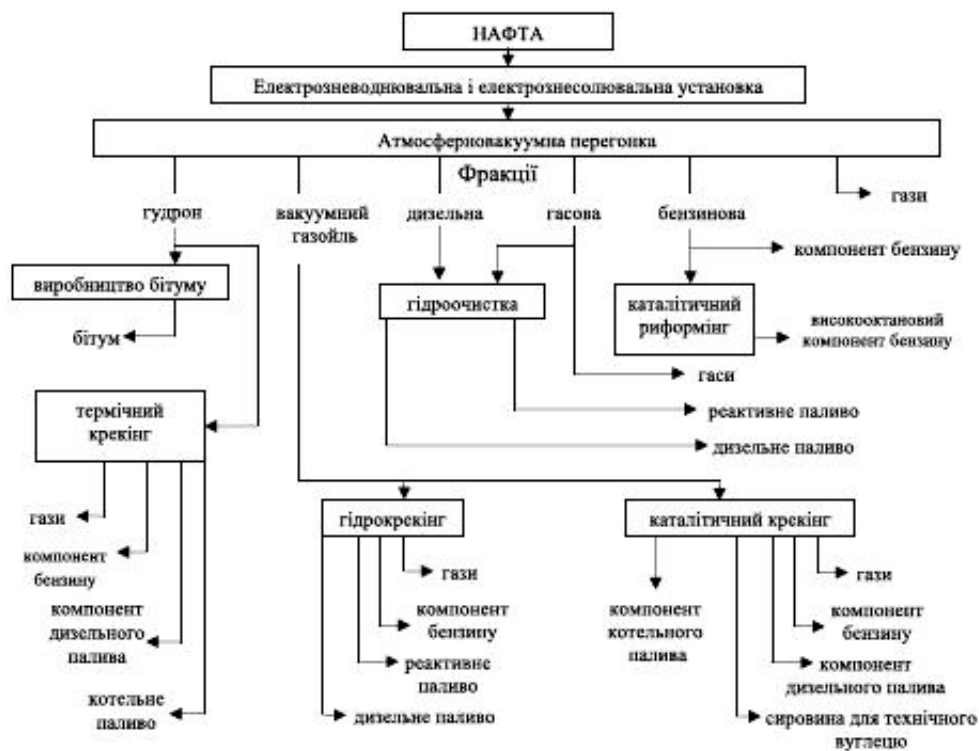


Рис. 3.3. Схема переробки нафти за паливним варіантом

Фракцію нафти, що википає при температурі 35...205 °С, називають бензином, при 120...240 °С – лігроїном, при 150...315 °С – гасом, при 150...360 °С – дизельним паливом, при 300...400 °С – соляровою оливою, а залишок з нафти після відгонки – мазутом.

Залежно від родовища з нафти прямою перегонкою можна одержати такі фракції: бензинові (10...15 % маси вихідної нафти), що використовуються для вироблення автомобільних, авіаційних бензинів і розчинників; лігроїнові й гасові (15...20 %), з яких отримують паливо для реактивних двигунів та гаси; газойлеві й соляріві (15...20 %), з яких виробляють дизельне паливо. Після відгонки паливних фракцій залишається мазут (50 %).

Мазут залежно від його хімічного складу використовують для одержання додаткових кількостей палив деструктивними методами, як сировину для вироблення олив та інших нафтопродуктів, а також він слугує паливом для тихохідних двигунів і теплових електричних станцій.

Для отримання з нафти більшої кількості бензину і дизельного палива застосовують *крекінг-процес* (термічний і каталітичний).

Розроблено, вивчено й застосовують на практиці різні методи вторинної переробки нафти – крекінгу: термічний, піроліз і каталітичний, гідрокрекінг, а також риформінг – каталітичний, термічний та ізомеризацію.

*Термічний крекінг* низькосортної важкої нафтової сировини здійснюється при температурі 470...540 °С під тиском 4...6 МПа з наступним риформінгом. Термічний крекінг, що здійснюється при температурі 500...600 °С і тиску 0,2...6,0 МПа, застосовують для перетворення гудронів та інших важких продуктів у широку фракцію, яка використовується для переробки їх у паливо для двигунів.

Сировиною для вироблення автомобільного бензину є мазут, гасові й газойлеві фракції прямої перегонки тощо. Вихід бензину залежить від сировини. З мазуту можна одержати до 30 % бензинових фракцій, а з газойлю – 60 %. Такі бензини характеризуються низькою хімічною стабільністю і невисокими октановими числами (66...68 за моторним методом).

*Піроліз* — це високотемпературний (650...750 °С) крекінг в умовах низького тиску (близько 0,1 МПа). За відсутності хімічних реагентів його застосовують для перетворення важкої сировини в гази (етилен, пропілен тощо) та ароматичні вуглеводні (ізооктан, бензол, нафталін та ін.), які додають до товарних бензинів.

Термічний крекінг через незадовільну якість кінцевого продукту (бензину) витісняється сучаснішими, розглянутими нижче.

*Каталітичний крекінг* здійснюється в м'якіших (порівняно з термічним) умовах (температура 450...500 °С, тиск 0,15 МПа), але в присутності каталізаторів (наприклад алюмосилікатних), через що процеси деструкції (розщеплення молекул) відсуваються в напрямі утворення ізомерних, найцінніших для бензинів, вуглеводнів. Загальний вихід бензинових фракцій понад - 50 %. При цьому отримують бензин із високою детонаційною стійкістю – з октановим числом за дослідним методом 87...91 (78...85 за моторним методом), оскільки вони складаються з ізопарафінових, а також ароматичних вуглеводнів. Сировиною є газойлева або солярова фракція прямої перегонки нафти, іноді соляровий дистилят вакуумної перегонки мазуту.

*Гідрокрекінг* – це каталітичний крекінг у присутності водню під тиском 15...20 МПа при температурі 350...450 °С. Октанові числа бензинових фракцій гідрокрекінгу становлять 85...88 (за дослідним методом). Вихід бензинів - понад 50 % маси вихідної сировини. Змінюючи умови процесу гідрокрекінгу (тиск, температуру та швидкість введення реагентів), можна отримати цільовий продукт (бензин, дизельне або реактивне паливо) з потрібним фракційним і хімічним складом. Сировиною можуть бути й бензинові фракції, тоді цільовим продуктом є зріджені гази (пропан-бутанові фракції).

*Каталітичний риформінг* (рис. 3.4) здійснюється при температурі 470...530 °С під тиском 2...4 МПа в присутності каталізаторів (коли використовується платина, процес називають платформінгом).

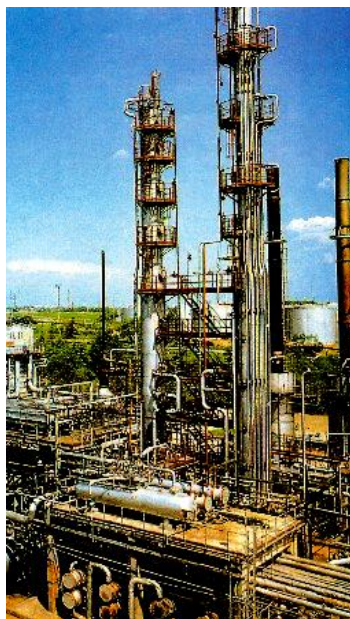


Рис. 3.4. Установа каталітичного риформінгу на Кременчуцькому нафтопереробному заводі

*Термічний риформінг* здійснюється при температурі близько 550 °С під тиском 5 МПа.

Сировиною для риформінгу є важкі бензинові та лігроїнові фракції з температурою початку кипіння понад 110 °С. Мета процесу – одержання високооктанових компонентів бензинів із побіжних продуктів крекінгу та коксування. Цільовий продукт – ізооктан (октанове число 100), алкілбензин, алкілбензол. Усі ці



продукти широко використовуються як домішки до товарних бензинів для підвищення їхньої детонаційної стійкості.

Мазут, що залишився після перегонки, використовують як котельне паливо, при роботі теплових агрегатів асфальтобетонних установок і заводів, на флоті і в промисловості, а також як сировину для отримання різних сортів мастильних олив.

*Мазут* є сумішшю різних висококиплячих важких вуглеводнів. Відомо, що вуглеводень, який має при атмосферному тиску температуру кипіння  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при зниженому тиску близько  $1,3 \cdot 10^{-3}$  МПа кипить при  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тому, на відміну від прямої перегонки нафти, при атмосферному тиску мазут переганяють на масляні фракції під вакуумом.

У трубчастій печі мазут нагрівається до температури  $435\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в ректифікаційній колоні підтримується тиск близько  $5,3 \cdot 10^{-3} \dots 7,3 \cdot 10^{-3}$  МПа (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Схема отримання олив з мазуту

Перегонка мазуту під вакуумом дозволяє розділити його на легкі, середні і важкі масляні дистиляти, що википають при різних температурах. На дні колони залишається напівгудрон або гудрон. Застосовуючи відповідну глибоку обробку гудрону або

напівгудрону сірчаною кислотою, а потім очищення відбілювальними глинами, виділяють високов'язкі залишкові оливи, головним чином авіаційні.

З мазуту отримують приблизно 50 % масляних дистилатів, які разом із залишком є напівпродуктами. У них, окрім вуглеводнів, містяться різні шкідливі домішки: асфальтосмолисті речовини, кислоти, сірчисті сполуки, які погіршують якість оливи. Тільки після видалення цих домішок різними способами очищення (сірчаноокислотним, земельним, селективним, деасфальтизацією, депарафінізацією) отримують готові оливи. Оливи, отримані очищенням оливних дистилатів, називають дистилатами, на відміну від олив, отриманих із залишків, які називаються залишковими. Слід мати на увазі, що оливний дистилат і дистилатна олива – назви різних продуктів. Оливний дистилат – це неочищена олива, а дистилатна олива – очищена і готова до застосування.

Існують хімічні і фізико-хімічні способи очищення нафтопродуктів. У першому випадку сполуки, що знаходяться в нафтопродукті, що очищується, вступають у хімічні реакції з реагентом, а в другому очищення засноване на фізичних процесах (розчиненні небажаних домішок, адсорбції їх на поверхнево-активних речовинах і т. п.).

Найбільш поширені способи хімічного очищення – обробка сірчаною кислотою, лугами, плюмбитами і хлоридами металів. Фізико-хімічні способи – це очищення адсорбентами і селективними розчинниками.

*Очищення сірчаною кислотою* – один з найбільш відомих, поширених і дорогих способів. Сірчана кислота по-різному реагує з вуглеводнями і домішками: з одними вона вступає в хімічну реакцію, частково розчиняє речовини, що утворюються, іноді утворює сульфосполуки, а на деякі вуглеводні зовсім не реагує. Для очищення нафтопродуктів зазвичай беруть 96-відсоткову сірчану кислоту, оскільки димляча кислота руйнує корисні вуглеводні.

*Очищення лугом* зазвичай доповнює сірчаноокислотне. Іноді застосовують тільки лужне очищення, мета якого – нейтралізувати кислі сполуки, що утворилися від дії сірчаної кислоти і містяться в продукті, який очищується. При лужному очищенні продукт промивають 10-відсотковим водним

розчином їдкого натрію, а потім водою для видалення залишків лугу і солей, після чого просушують перегрітою парою.

*Очищення адсорбентами* засноване на властивості деяких пористих речовин поглинати (адсорбувати) своєю поверхнею полярно-активні сполуки (смолисті й асфальтосмолисті речовини, кислоти, сірчисті сполуки). Як адсорбенти широко використовують багато природних відбілювальних земель, а також силікагель. З природних адсорбентів застосовують зикеївську землю (Брянська обл.), гумбрин (Грузія), хотьківську землю та ін.

*Селективне очищення* олив здійснюють вибірними розчинниками, у ролі яких використовують органічні речовини: рідкий пропан, фенол, нітробензол, фурфурол та ін. Метод є суто фізичним, оскільки в жодні хімічні реакції розчинник не вступає. При обробці утворюються два шари: рафінад (очищений продукт) і екстракт (витягнута небажана домішка). Добрі результати отримують, якщо селективне очищення застосовують після очищення кислотою або адсорбентами.

*Деасфальтизація* олив є попередньою (перед селективним очищенням) обробкою високосмолистих залишкових олив для видалення основної маси асфальтосмолистих речовин. Деасфальтизація заснована на тому, що рідкий пропан розчиняє вуглеводневий склад олив і не розчиняє асфальтосмолисті сполуки, що легко осідають з розчиненої в пропані оливи.

*Депарафінізація* олив здійснюється для видалення з них твердих вуглеводнів (парафінів), що різко підвищують температуру застигання олив і засмічення фільтрів.

З малов'язких олив основну частину парафіну видаляють штучним охолодженням до температури  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому тверді парафінові вуглеводні осідають у вигляді кристалів, після чого отриману суміш продавлюють крізь фільтрпрес. Високов'язкі оливні дистиляти охолоджують до температури  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При такому глибокому охолодженні виділяються кристали парафіну, після чого отриману суміш фільтрують.

Порівняно недавно стали застосовувати досконаліший спосіб очищення палив від сірки і її сполук – *гідроочищення*. Суть його полягає в обробці продукту, що очищується, воднем під тиском. Гідрування відбувається у присутності каталізаторів. Сірка витісняється воднем, утворюючи сірководень, який потім видаляється.

#### 4. Трибологія, триботехніка, хімотологія

Технічний рівень сучасних ДВЗ визначається параметрами їхнього робочого процесу і залежить від цілого комплексу заходів, що проводяться від проєктування і виготовлення до експлуатації. При цьому великого значення набуває надійність, тобто їхня здатність виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення експлуатаційних показників у заданих межах. Проте в переважній більшості випадків умови експлуатації двигунів дуже жорсткі, що знижує їхню надійність за рахунок зношування деталей. Відновлення працездатності шляхом ремонту і заміни окремих деталей і вузлів пов'язане зі значними матеріальними витратами. Половина цих коштів витрачається на капітальний ремонт. Із загальної кількості відмов двигунів близько 50 % обумовлено процесами зношування.

Таким чином, боротьба зі зношуванням є актуальною. Для зниження тертя і зношування застосовуються мастильні оливи на нафтовій основі. Використання оливо позитивно впливає на надійність ДВЗ, що призводить до зниження їхніх простоїв, витрат на запчастини і т. п.

З іншого боку, наявний останнім часом дефіцит нафти, значні витрати, пов'язані з її видобутком і транспортуванням, викликають необхідність економного і раціонального застосування нафтопродуктів.

Усе це стимулювало створення і розвиток наукових напрямів, що мають важливе практичне значення для вирішення завдань підвищення надійності і економічності машин, у т. ч. локомотивів [4, 5]. Такими напрямками є:

- *трибологія* («трибос» – тертя, «логос» – наука) – наука про тертя в процесах, що супроводжують тертя;

- *триботехніка* – впорядковані знання про практичне застосування трибології;

- *хімотологія* («хімія», «мотор», «логос») – наука, що вивчає проблеми теорії і практики раціонального застосування палив, оливо і мастил у техніці.

Хімотологія – це напрям у науці й техніці, який вивчає експлуатаційні властивості палив, оливо і спеціальних рідин, а

також розробляє теоретичні та практичні проблеми їх раціонального застосування в техніці.

Хімотологія – досить молода наука, що тільки починає розвиватися. Вона склалася на стику хімії та двигунобудування. У хімотології двигун, паливо й оливи розглядаються як складові чотириланкової системи (рис. 4.1), ланки якої перебувають у якісному взаємозв'язку.

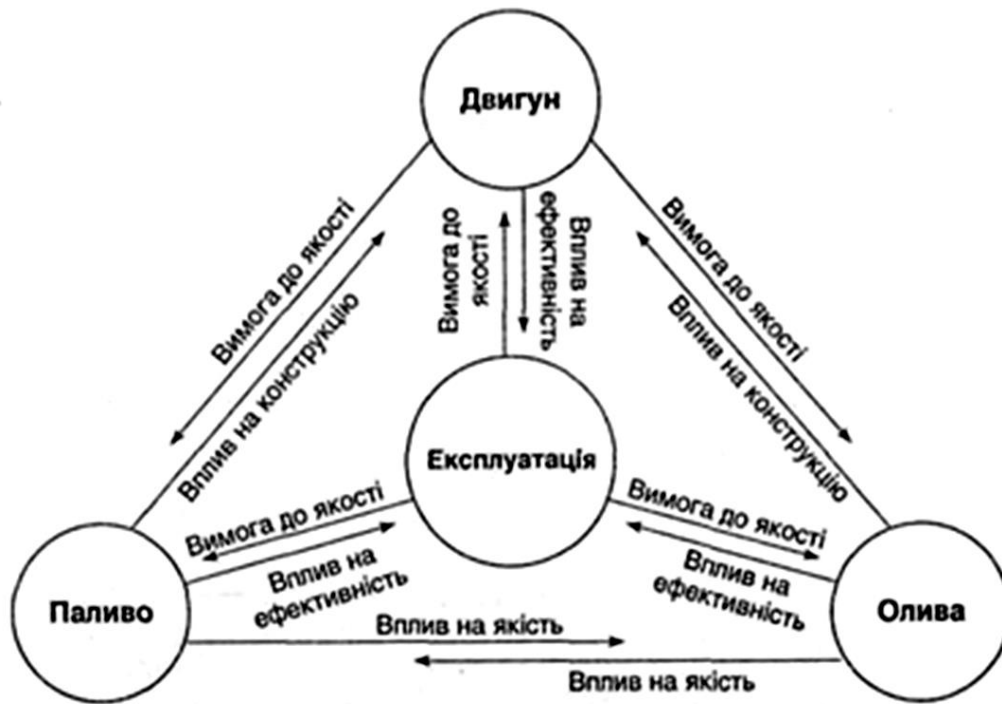


Рис. 4.1. Хімотологічна чотириланкова система:  
двигун – паливо – олива – експлуатація

Справді, ефективність роботи двигуна залежить не тільки від його конструктивних і технологічних особливостей, а й значною мірою від застосовуваних марок і сортів палива та оливи, а також від експлуатаційних властивостей. Якість палива й оливи безпосередньо впливає на безвідмовність, довговічність та економічність роботи двигуна й може бути підставою для внесення змін у його конструкцію.

Отже, вирішуючи власне проблеми хімотології, необхідно враховувати не лише вплив якості палив та олив на конструкцію двигуна, а й зворотний зв'язок:

- вимоги конструкції двигуна до якості палив та олив;
- взаємозв'язок між паливом та оливою.

Перелік вузлів тертя, складових одиниць і агрегатів з урахуванням конструктивних особливостей двигунів і властивостей паливно-мастильних матеріалів (ПММ) наведено в картах і схемах мащення локомотивів, що містяться в технічній експлуатаційній документації.

Вирішуючи проблеми хімотології (раціонального використання ПММ), можна істотно підвищити безвідмовність, довговічність та економічність і, як наслідок, ефективність роботи ДВЗ, знизити витрати ПММ, оптимізувати й розширити асортимент олив і термін використання олив і мастил.

Необхідність і важливість вивчення хімотології зумовлені також істотним впливом ПММ на довкілля.

До найважливіших на сучасному етапі завдань хімотології належать:

- поліпшення технічних характеристик двигунів і локомотивів для підвищення безвідмовності, довговічності й економічності їхньої роботи;
- створення нових сортів ПММ і їх уніфікація;
- визначення оптимальних умов, за яких забезпечуються збереження властивостей ПММ та зниження їх втрат під час зберігання, транспортування, заправлення й використання;
- розроблення і впровадження кваліфікаційних методів і їхніх комплексів для оцінювання експлуатаційних властивостей ПММ;
- розроблення класифікацій ПММ;
- нормування витрат ПММ;
- вивчення процесів зміни показників якості ПММ та спеціальних рідин у двигунах і агрегатах локомотивів;
- узагальнення досвіду експлуатації й визначення закономірностей між якістю палива й мастильних матеріалів з безвідмовністю, довговічністю й економічністю роботи двигуна;
- вирішення екологічних проблем, пов'язаних зі зменшенням забруднення навколишнього природного середовища.

## **5. Хімотологія бензинів. Основні характеристики й властивості бензинів**

Потужність, що розвивається двигуном, його моторесурс, надійність та ефективність роботи, витрати палива й моторної оливи, токсичність відпрацьованих газів залежать від властивостей і якості палива.

Бензин – це складна суміш вуглеводнів із різною температурою кипіння: від 30...35 до 195...215 °С. Товарний бензин [12, 19, 24] складається з суміші бензинових фракцій, добутих різними способами переробки нафти прямою перегонкою й крекінгами. У нього додаються певні високооктанові компоненти, альтернативні палива, газовий бензин, а також присадки й інгібітори окиснення, присадки, що мають мийні та інші властивості.

Бензин – легкозаймиста горюча рідина (температура займання його становить 27...39 °С, а температура самозаймання – 355...370 °С), тому, працюючи з бензином, слід дотримуватися правил техніки безпеки.

До бензинів висуваються такі вимоги:

- забезпечення нормального і повного згорання отриманої суміші у двигунах (без виникнення детонації);
- утворення горючої суміші необхідного складу;
- забезпечення безперебійного подання в систему живлення;
- відсутність корозійної дії на деталі двигуна;
- незначне утворення відкладень у двигуні;
- збереження якості при зберіганні й транспортуванні.

Кожна з названих вимог визначається показниками, які для різних марок бензинів нормуються державними стандартами.

Експлуатаційні властивості бензинів можна умовно поділити так:

- сумішоутворювальні, які забезпечують подавання бензинів й утворення паливоповітряної (горючої) суміші;
- такі, що зумовлюють пуск і роботу двигуна;
- низькотемпературні;
- такі, що забезпечують повне згорання палива;
- антидетонаційні;

- такі, що впливають на корозію й утворення шкідливих відкладень у двигуні.

Основними параметрами бензинів є *випаровування* (оцінюється за фракційним складом і тиском насичених парів); *фракційний склад* за температурами початку кипіння і перегонки 10, 50 і 90 % об'єму бензину та температурою кінця його кипіння; *тиск насичених парів*; *детонаційна стійкість*; *кислотність*.

Основні показники бензинів за ДСТУ 7687:2015 [9] подано в табл. 5.1.

Найважливішими показниками якості бензинів є *детонаційна стійкість і кислотність*.

Таблиця 5.1

Основні показники бензинів (Євро 4)

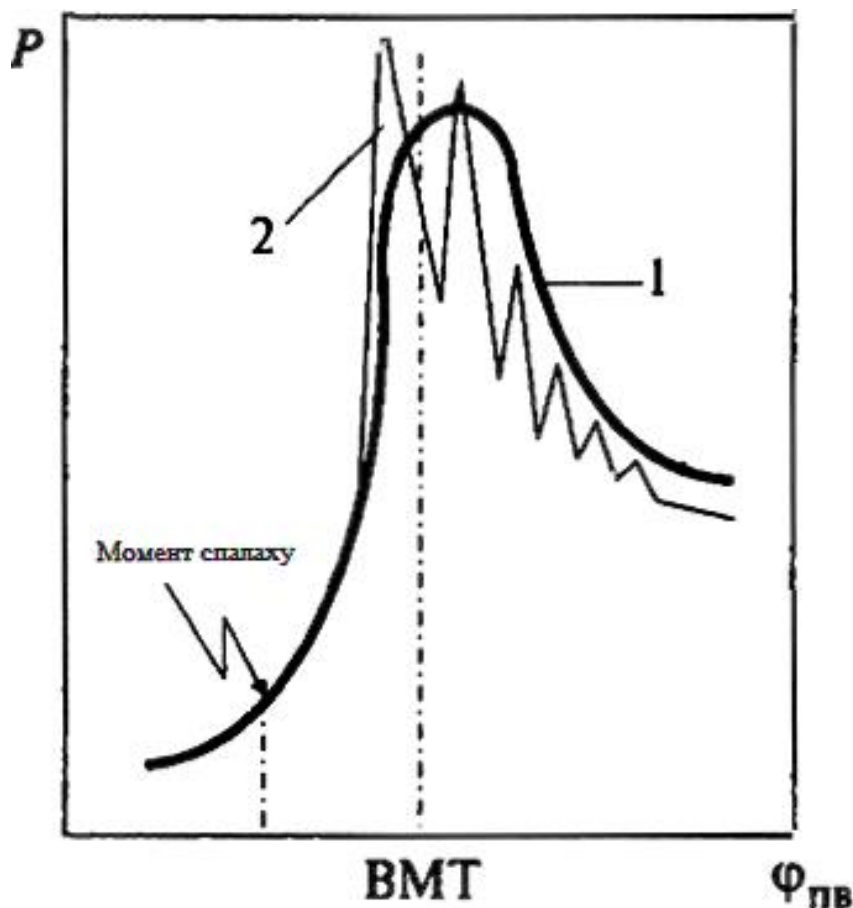
Показник	A-80	A-92	A-95
Октанове число, не менше: за дослідним методом	80	92	95
за моторним методом	76	85,2	85
Концентрація свинцю, мг, на 1 дм <sup>3</sup> бензину, не більше	5	5	5
Тиск насиченої пари бензину (у літній період), кПа	45-80	45-80	45-80
Кислотність, КОН на 100 см <sup>3</sup> бензину, мг, не більше	3,0	3,0	3,0
Концентрація фактичних смол у 100 см <sup>3</sup> бензину, мг, не більше	5	5	5
Вміст сірки, мг/кг, не більше	50	50	50
Водорозчинні кислоти і луги	Відсутність		
Механічні домішки і вода	Відсутність		
Колір	Безбарвний або блідо-жовтий		

Підвищення ступеня стискання палива є одним із можливих способів забезпечення повного згорання палива й використання здобутої у двигуні енергії. Але можливі такі режими роботи двигуна, при яких двигун стукає, температура циліндрів підвищується, потужність спадає, а відпрацьовані гази стають



чорними та руйнують деталі двигуна. Це обумовлене тим, що частка суміші парів бензину та повітря згорає не поступово, а вибухає. Таке явище отримало назву детонації двигуна.

На рис. 5.1 подано розгорнуту індикаторну діаграму, тобто залежність зміни тиску  $P$  в циліндрі двигуна від кута повороту колінчастого вала  $\varphi_{\text{пв}}$  при нормальному і детонаційному згоранні суміші.



Рису. 5.1. Індикаторна діаграма у випадку детонаційного згорання палива: 1 – нормальне згорання; 2 – детонаційне згорання; ВМТ – верхня мертва точка

Здатність бензину згорати у двигуні з іскровим запалюванням без вибуху отримала назву детонаційної стійкості. Встановлено [3, 11], що детонаційна стійкість залежить не тільки від антидетонаційних властивостей бензину, а й режиму роботи двигуна та умов його експлуатації: атмосферних умов, нагароутворення, частоти обертання колінчастого вала двигуна,

випередження запалювання, температури циліндрів, складу робочої суміші та дроселювання двигуна.

Для усунення детонації двигунів доцільно використовувати:

- менший кут випередження запалювання;

- прикриття дроселя і збільшення частоти обертання колінчастого вала.

Кожний із названих факторів окремо, а тим більше в їх поєднанні, є досить ефективним засобом боротьби з детонацією двигунів. Однак застосовувати їх треба лише в крайніх випадках і до того ж короткочасно, оскільки від цього або знижується потужність двигуна, або погіршується його економічність, або те й інше одночасно.

Тому, тільки підібравши для кожного типу двигуна бензин з відповідним октановим числом, можна забезпечити бездетонаційну роботу двигуна без втрати потужності та погіршення економічності.

Показник, що визначає детонаційну стійкість бензину, отримав назву октанового числа. *Октановим числом* називається відсотковий (об'ємний) вміст ізооктану в еталонному паливі, яке за своїми антидетонаційними властивостями аналогічне антидетонаційним властивостям досліджуваного бензину.

*Еталонне паливо* створюють змішуванням двох хімічно чистих вуглеводів – ізооктану  $C_8H_{18}$  та н-гептану  $C_7H_{16}$ .

Ізооктан має високі антидетонаційні властивості, він здатний згорати без детонації, навіть при високому стисканні. Детонаційна стійкість ізооктану відповідає октановому числу 100, а нормального гептану – октановому числу нуль. Змішуючи ці два вуглеводні в різних пропорціях, отримують еталонне паливо з різною мірою схильності до детонації.

Існує два методи оцінювання октанового числа: моторний і дослідний. Для визначення октанового числа за цими методами використовують пристрій УИТ-65, основним агрегатом якого є одноциліндровий чотиритактний двигун із пристроєм, що дає змогу змінювати ступінь стискання під час його роботи від 4 до 10. Цей пристрій оснащений електродвигуном, генератором постійного струму та спеціальним ресивером для підтримки сталої вологості повітря. До комплекту пристрою входить також електронна апаратура для вимірювання інтенсивності детонації та пульт керування.

Октанове число за *моторним методом* (ОЧМ) визначають при частоті обертання колінчастого вала  $n = (900 \pm 10) \text{ хв}^{-1}$  і підігріванні робочої суміші до  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , а за дослідним методом (ОЧД) – при  $n = (600 \pm 6) \text{ хв}^{-1}$ , але без підігрівання. Октанове число бензинів А-92, А-95, А-98 визначається дослідним методом. При цьому октанове число, визначене за дослідним методом, дещо вище, ніж за моторним. Ця різниця дорівнює приблизно 7...8 одиниць.

На значення октанового числа бензину впливають також інші фактори (наприклад, діаметр циліндра, матеріал головок блока, розміщення та кількість свічок запалення тощо), тобто ті, від яких залежить процес згорання суміші.

Потрібне октанове число бензину можна визначити розрахунковим шляхом за залежністю

$$\text{ОЧ} = 125,5 - 413/\varepsilon + 0,183D, \quad (5.1)$$

де ОЧ – октанове число бензину;

$\varepsilon$  – ступінь стискання двигуна;

D – діаметр циліндра двигуна.

Для поліпшення антидетонаційних властивостей за деяких умов до палива можна додавати антидетонатори, але вони мають вищу температуру кипіння і разом із висококиплячими фракціями палива осідають на стінках впускного трубопроводу. У циліндри вони потрапляють з деякими запізненнями і значною нерівномірністю. Цей вкрай небажаний процес може спричинити значну нестабільність детонаційної стійкості двигуна.

Мінеральні кислоти й інші водорозчинні кислі сполуки дуже впливають як на чорні, так і кольорові метали, а луги – лише на кольорові. Наявність їх у паливі недопустима. Наявність кислот установлюється за допомогою водяного розчину метилоранжу, а лугів – спиртового розчину фенолфталеїну. Водяна витяжка має бути нейтральною, інакше паливо слід забракувати.

Органічні кислоти за корозійною активністю значно слабкіші від мінеральних. Тому наявність їх у паливі в обмеженій кількості допускається. Наявність у паливі кислот та інших продуктів із кислотою реакцією характеризується показником, який називається кислотністю.

*Кислотність* оцінюється кількістю гідроксиду калію (КОН) у міліграмах, необхідною для нейтралізації вільних кислот, що містяться в 1 г нафтопродукту. У свіжому бензині майже не повинно бути мінеральних кислот і лугів, тобто паливо має бути нейтральним. Однак із часом кислотність бензину збільшується.

Наявність активних сірчистих сполук у паливі виявляють випробуванням на мідну пластинку, яку після ретельного очищення витримують у паливі протягом 3 год при температурі 50+2 °С. Максимальна кількість сірки в автомобільних бензинах – не більше 0,1 %, в останніх — 0,05, оскільки з її підвищенням зношування деталей двигуна різко зростає. Наявність у паливі сірчаних сполук (особливо дисульфідів і меркаптанів) погіршує його стабільність і сприяє смолоутворенню.

*Товарні автомобільні бензини* в Україні виробляють за ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро», який скасовує з 01.07.2016 р. дію попередніх стандартів і технічних умов. Основними виробниками українського бензину є Кременчуцький НПЗ і Шебелинський ГПЗ. Бензин імпортується з Білорусі, Литви, Польщі та країн Чорноморського басейну (Румунії, Болгарії).

Залежно від октанового числа (ОЧ) ДСТУ 7687:2015 передбачає випуск бензинів таких марок:

- А-80 - з октановим числом за дослідним методом не менше 80;
- А-92 - з октановим числом за дослідним методом не менше 92;
- А-95 - з октановим числом за дослідним методом не менше 95;
- А-98 - з октановим числом за дослідним методом не менше 98.

Основні властивості бензинів за ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро» наведені в табл. 5.2.

Умовні позначення бензинів містять:

- марку (А-98, А-95, А-92, А-80);
- символ екологічного класу (Євро 5, Євро 4, Євро 3);
- символ виду бензину за вмістом біоетанолу (Е5, Е7, Е10).

Приклад позначення бензину марки А-95 екологічного класу Євро 4 з вмістом біоетанолу не більше ніж 5 %:

«Бензин автомобільний А-95-Євро4-Е5 згідно з ДСТУ 7687:2015».

Для виробництва товарних високооктанових бензинів використовуються ізооктан, ізопептан і толуол, а також домішки кисневмісних компонентів: метилтретиннобутиловий ефір (МТБЕ), третилбутилова суміш (ТБС), високооктанова киснева домішка (ВКД), етилтретиннобутиловий ефір (ЕТБЕ) (табл. 5.3).

Таблиця 5.2

## Характеристика бензинів, за ДСТУ 7687:2015

Показник	Значення для марок		
	А-92- Євро5	А-95- Євро5	А-98- Євро5
1. Детонаційна стійкість: - октанове число за дослідним методом, не менше; - октанове число за моторним методом, не менше	92,0 82,5	95,0 85,0	98,0 88,0
2. Концентрація свинцю, мг/дм <sup>3</sup> , не більше	5	5	5
3. Густина за температури 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	720-775	720-775	720-775
4. Вміст сірки, мг/кг, не більше	10	10	10
5. Вміст марганцю, мг/дм <sup>3</sup>	6,0	6,0	6,0
6. Стійкість до окиснення (індукційний період), хв, не менше	360	360	360
7. Концентрація фактичних смол, мг/100 см <sup>3</sup> , не більше	5	5	5
8. Випробовування на мідній пластинці чи корозія мідної пластинки (3 год ± 5 хв) при температурі 50 °С, клас, не більше	витримує 1	витримує 1	витримує 1
9. Зовнішній вигляд	прозорий і світлий, без механічних домішок і води		
10. Об'ємна частка вуглеводнів, %, не більше: - олефінових; - ароматичних	18 35	18 35	18 35
11. Об'ємна частка бензолу, %, не більше	1,0	1,0	1,0
12. Масова частка кисню, %, не більше	2,7	2,7	2,7

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4
13. Об'ємна частка органічних кисневмісних сполук, %, не більше:			
- метанолу;	3,0	3,0	3,0
- етанолу;	5,0	5,0	5,0
- ізопропілового спирту;	10,0	10,0	10,0
- ізобутилового спирту;	10,0	10,0	10,0
- третбутилового спирту;	7,0	7,0	7,0
- простих ефірів;	15,0	15,0	15,0
- інших органічних кисневих сполук з температурою кінця кипіння не вище 210 °С	10,0	10,0	10,0

Таблиця 5.3

## Властивості кисневмісних високооктанових компонентів

Показник	Метанол	Етанол	ТБС	МТБЕ	ЕТБЕ
Детонаційна стійкість:					
- ОЧМ;	95	94	89	101	105
- ОЧД	114	111	106	117	118
Температура, °С:					
- кипіння;	64,4	78,5	82,8	55,2	73,1
- застигання	-97,8	-117,3	-25,5	-108,6	-94,0
Нижча теплота згорання, кДж/кг	19469	26713	32683	35150	36042
Теплота випарювання, кДж/кг	1101	837	527	342	311
Густина при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> (не більше)	793	789	789	840	740

Базовими компонентами для виробництва товарних автомобільних бензинів є бензини каталітичного риформінгу та каталітичного крекінгу.

## 6. Асортимент зарубіжних автомобільних бензинів

У різних регіонах світу використовують різні марки автомобільних бензинів. У табл. 6.1 показана взаємозамінність бензинів вітчизняного і зарубіжного виробництва [15, 24].

Європейський стандарт EN 228 діє в країнах ЄЕС з 1996 р. Стандарт передбачає випуск автомобільних бензинів марок super або superplus (*S*) з ОЧД відповідно 98 і 99 і premium або european (*P*) з ОЧД 95 і regular (*P*) з ОЧД 90 або 91. Усі марки автомобільних бензинів виробляються неетилованими чотирьох видів: Summer (літні) – *S*, Winter (зимові) – *W*, Intermediate (проміжні) – *I* і Intermediate mixtures (міжсезонні суміші) – *I*.

Таблиця 6.1

### Взаємозамінність бензинів

Вітчизняний бензин	Зарубіжний бензин		
Марка, ГОСТ(ТУ)	Марка	Специфікація	Країна
А-80, ДСТУ 7687:2015	Звичайний Type 2	ONO RM 113 JIS K 2202-80 CAN 2-3,5-79	Австрія Японія Канада
А-92, ДСТУ 7687:2015	А-93 Normal Regular	БДС 8638-82 DIN 51600, DIN 51607 ASTM D439 - 83	Болгарія Німеччина США
А-95, ДСТУ 7687:2015	Premium Superbensin	SNV 181162 BS 7070-85	Швейцарія Великобританія
А-98, ДСТУ 7687:2015	А-96 Star Super	БДС8638-82 SNV 181161/1 BS 4040-78	Болгарія Швейцарія Великобританія

У США використовують тільки неетиловані бензини марок regular, midtrade, premium, superpremium.

У Південно-Східній Азії використовують автомобільні бензини 91RON, 92 RON, 95 RON і 97 RON (аббревіатура RON складена з перших літер англійських слів research octane number, тобто «октанове число за дослідним методом»), усі вони літні та малоетиловані (вміст свинцю до 0,01 г/дм<sup>3</sup>).

## 7. Хімотологія дизельних палив. Загальні властивості

Дизельне паливо являє собою гасовогазойлеві фракції переробки нафти з температурами кипіння від 200 до 350 °С. Це прозора, більш в'язка порівняно з бензином рідина від жовтого до світло-коричневого кольору [13]. Його забарвлення залежить від концентрації смол.

Дизельне паливо – це горюча рідина; температурні границі займання – від 57 до 119 °С, а температура самозаймання – 300...250 °С.

У дизелях, на відміну від карбюраторних двигунів, не застосовують іскрове запалення, і паливно-повітряна суміш запалюється внаслідок самозаймання при стискуванні. Тому для дизелів доцільно використати паливо з порівняно низькою температурою самозаймання.

Дизельне паливо порівняно з бензином має істотний недолік – набагато обмежена сировинна база. Дизельне паливо виробляють переважно прямою перегонкою й каталітичним крекінгом із наступним очищенням. При цьому при прямій перегонці вихід бензину – 10...15 %, дизельного палива – 15...20 %; каталітичним крекінгом добувають бензину 40-50 %, дизельного палива 10...15 % кількості переробленої нафти. Крім того, бензин виробляють не лише з нафти, а й із газів, вугілля, важких нафтопродуктів, у тому числі дизельного палива. Перехід автівок, сільгосптехніки та будівельно-дорожніх машин на дизелі також призводить до дефіциту дизельного палива.

Дизельне паливо має відповідати таким вимогам:

- мати оптимальні густину, поверхнєве натягнення, випаровуваність і самозаймистість;
- зберігати текучість при низьких температурах;
- бути хімічно і фізично стабільним;
- мати мінімальну корозійну дію;
- не містити води і механічних домішок, сірчаних сполук, водорозчинних кислот і лугів;
- мати тонке розпилювання та хороше сумішоутворення й згорання;
- повне згорання без утворення диму, щоб двигун легко запускався і м'яко працював;



- якнайменше утворення нагару на клапанах, кільцях, поршнях і відкладень у зоні розпилювачів форсунки й у камері згорання.

Від якості палива залежить надійність роботи двигуна і, як наслідок, витрати на його обслуговування та ремонт і, зрештою, собівартість експлуатації локомотива.

*Цетанове число дизельного палива* визначається відсотковим складом (за об'ємом) цетану в еталонному паливі, що має однакове самозаймання з досліджуваним паливом.

Схильність цетану до самозаймання умовно оцінюється у 100 одиниць, а альфаметилнафталіну – в нуль.

*Альфаметилнафталін (α-метилнафталін) (C<sub>10</sub>H<sub>7</sub>CH<sub>3</sub>)* – це чистий вуглеводень ароматичного ряду, характеризується найбільшим періодом затримки та високою температурою самозаймання. Звідси різко збільшується тиск на 1 град ОКВ і жорстка робота двигуна.

*Цетан (C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>)* – це чистий вуглеводень парафінового ряду, для якого характерними є найшвидший розпад й окиснення у стисненому повітрі під впливом температури і тиску. Він має найменший період затримки самозаймання, що забезпечує м'яку роботу двигуна.

При змішуванні цетану з альфаметилнафталіном у різних співвідношеннях одержують низку еталонного палива з різною схильністю до самозаймання. Чим більше цетану в суміші, тим вища її схильність до самозаймання.

Для визначення самозаймання дизельного палива треба підібрати такий склад суміші цетану й альфаметилнафталіну, який був би рівнозначний за температурою самозаймання досліджуваному паливу.

Цетанове число можна визначити за збігом спалахів, затриманням самозаймання і критичною мірою стискання. Зазвичай цетанове число визначають за методом збігу спалахів, використовуючи для цього одноциліндрову установку WAUKESHA CFR-F5U (ИТ9-3М), яка працює за принципом самозаймання палива від стискання. Конструкція установки забезпечує зміну міри стискання в межах 7...23 (рис. 7.1).

Випробування проводять таким чином. Запускають двигун установки і задають йому стандартний режим роботи. Потім двигун переводять на випробовуване паливо. Кут випередження впорскування встановлюють рівним 13° до приходу поршня у

ВМТ. Потім зміною міри стискання домагаються початку самозаймання палива строго у ВМТ. Після цього в тих самих умовах переводять двигун на суміш цетану і  $\alpha$ -метилнафталіну, або ізооктану, підбираючи такий її склад, щоб вона при знайденій мірі стискування також займалася строго у ВМТ. Тоді відсотковий вміст цетану в цій суміші і показує цетанове число випробовуваного палива.

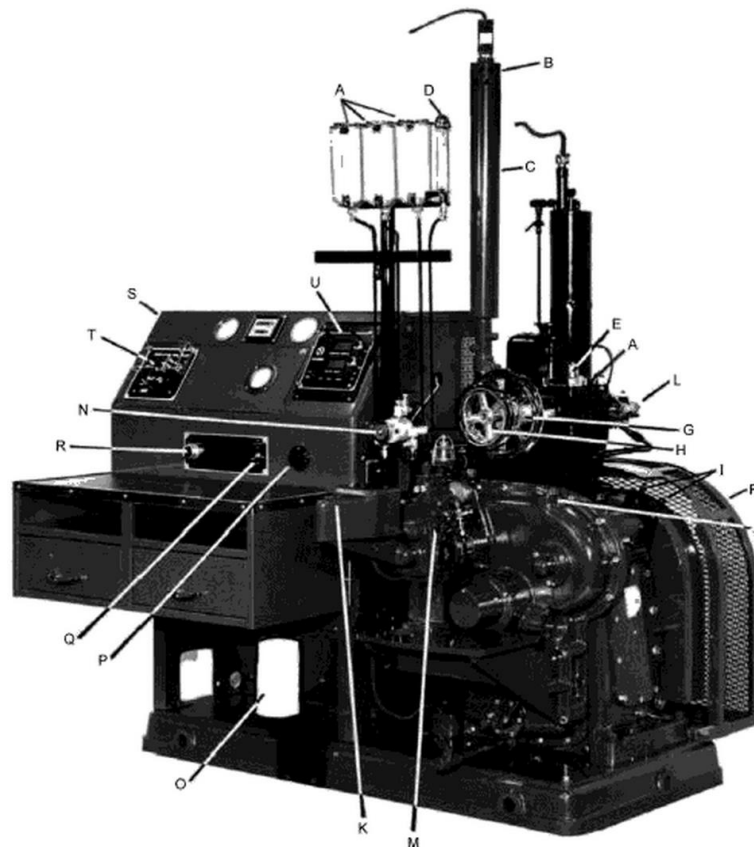


Рис. 7.1. Установа для визначення цетанового числа:

A – паливні баки; B – кожух нагрівача повітря; C – глушник повітрозабірника; D – бюретка вимірювання витрати палива; E – датчик займання; F – захисний кожух; G – ручний маховик плунжера змінного ступеня стискання; H – стопорне колесо маховика плунжера змінного ступеня стискання; I – датчики маховика; J – кришка оливного фільтра; K – соленоїд аварійного вимкнення паливного насоса; L – форсунка; M – паливний насос; N – селекторний кран перемикачів паливних баків; O – оливний фільтр; P – регулятор нагрівача моторної оливи; Q – перемикач нагрівача повітря; R – панель запуску-зупинки двигуна; S – приладова панель; T – регулятор температури повітря, що подається; U – подвійний цифровий вимірювач цетанового числа

Цетанове число випробовуваного палива  $CN_s$

$$CN_s = CN_{LRF} + \left( \frac{HW_s - HW_{LRF}}{HW_{HRF} - HW_{LRF}} \right) \cdot (CN_{HRF} - CN_{LRF}), \quad (7.1)$$

де  $CN_{LRF}$  – цетанове число низькоцетанового еталонного палива;  
 $CN_{HRF}$  – цетанове число високоцетанового еталонного палива;  
 $HW_s$  – показання для зразка;  
 $HW_{LRF}$  – показання для низькоцетанового еталонного палива;  
 $HW_{HRF}$  – показання для високоцетанового еталонного палива.

Цетанове число палива можна підвищити двома способами: регулюванням вуглеводневого складу палива або введенням спеціальних присадок.

Перший спосіб ґрунтується на тому, що гемологічні ряди вуглеводнів за ознаками зниження цетанового і підвищення октанового чисел розміщуються в одному й тому самому порядку: нормальні парафіни – ізопарафіни – нафтени – ароматичні вуглеводні. Отже, цетанове число можна значно підвищити, збільшуючи відсоток різних нормальних парафінів і знижуючи — ароматичних.

Другий спосіб ґрунтується на введенні кисневмісних домішок (органічні пероксиди, складні ефіри, спирти тощо). Введення в паливо лише 1 % присадок дає змогу підвищити цетанове число на 8...12 одиниць.

Процес сумішоутворення та згорання палива в дизелі значною мірою залежить від конструкції камери згорання і характеризується періодом затримки самозаймання — часом від моменту впорскування суміші в циліндр дизеля до її займання. Паливо в циліндрі двигуна займається не одразу, а через деякий час, який називається *періодом затримки самозаймання*. У разі великої затримки самозаймання паливоповітряної суміші в циліндрі дизеля накопичується і одразу згорає велика частина палива. Це спричиняє різке наростання тиску на кожний градус оберту колінчастого вала. При цьому спостерігається жорстка робота двигуна. *Жорсткість роботи дизеля* [3, 11, 19, 24], що характеризується швидкістю збільшення тиску залежно від кута ОКВ, пов'язана з затримкою самозаймання палива. Її оцінюють за

збільшенням тиску на 1 град ОКВ (рис. 7.2). Вважається, що двигун працює м'яко за збільшення тиску до 0,25...0,50 МПа на 1 град ОКВ, жорстко — за 0,6...0,9 МПа і дуже жорстко, коли тиск перевищує 0,9 МПа (такий режим може призвести до швидкого виходу двигуна з ладу).

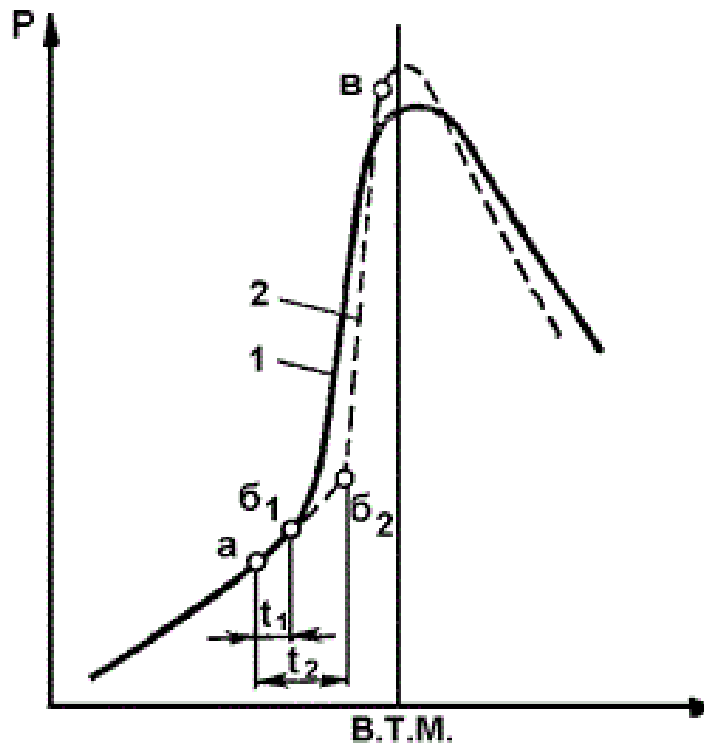


Рис. 7.2. Розгорнута індикаторна діаграма чотиритактного дизеля:  
 1 – м'яка робота двигуна; 2 – жорстка робота двигуна;  
 а – початок подачі палива; б – момент самозаймання палива;  
 в – кінець подачі палива;  $\sigma$  – затримка самозаймання палива

Зовнішні ознаки жорсткої роботи двигуна ідентичні детонаційному згоранню бензину в бензинових двигунах, тобто прослуховується характерний металічний стук від дії ударної хвилі на поршень двигуна. Такт стискання в дизелі супроводжується вібрацією та перегріванням двигуна. Крім того, збільшуються витрати палива й оливи, а також димність і токсичність відпрацьованих газів. При збільшенні ступеня стискання зменшується час затримки самозаймання палива, знижуються швидкість зростання тиску, питома витрата палива, робота дизеля стає повільною та м'якою і поліпшуються пускові якості. Проте процес залежить не тільки від конструктивних

особливостей дизельного двигуна, а й від властивостей самого палива.

Прокачування палива, робота паливного насоса, зношування прецизійних пар і форсунок, для яких паливо одночасно є й *мастилом*, тонкість розпилення та повнота згорання палива, його витрати, склад відпрацьованих газів великою мірою залежать від в'язкості дизельного палива, його низькотемпературних властивостей, наявності механічних домішок і води.

*В'язучі властивості.* Вони характеризуються густиною, в'язкістю і поверхневим натягом палива.

*Густина* дизельного палива – важливий його показник, її необхідно знати для обліку витрат і нормування в локомотивних депо, оскільки отримують паливо з нафтобази в одиницях маси (кг, т), а при заправлянні видають в об'ємних одиницях (дм<sup>3</sup>, л). При температурі 15 °С літні марки дизельного палива мають густину 820-845 кг/м<sup>3</sup>, зимні – 800-845 кг/м<sup>3</sup>, арктичні – 800-840 кг/м<sup>3</sup>.

У тих випадках, коли температура визначення густини відрізняється від 15 °С, одержане значення густини при  $t$ , °С, приводять до стандартної:

$$\rho_{15} = \rho_t + v \cdot (t - 15), \quad (7.2)$$

де  $v$  – температурна поправка на 1 °С (знаходять за розрахунковими таблицями; змінюється в межах 0,000620...0,000870). Визначають густину за допомогою нафтоденсиметрів-ареометрів (рис. 7.3).

*Поверхневий натяг* при 20 °С становить 25...30 нМ/м<sup>3</sup>. Однак за в'язкістю та іншими властивостями марки дизельного палива можуть мати великі розбіжності.

*В'язкість дизельного палива* дуже залежить від температури, тому коли говорять про в'язкість, то обов'язково зазначають, за якої температури вона визначалась. Із підвищенням температури в'язкість дизельного палива зменшується, і навпаки. В'язкість дизельного палива приблизно в п'ять разів вища за бензин.

В'язкість дизельних палив зазвичай нормується при температурі 20 °С. При підвищенні температури в'язкість зменшується незначно. При зниженні температури до негативних значень в'язкість істотно зростає [25] (табл. 7.1).

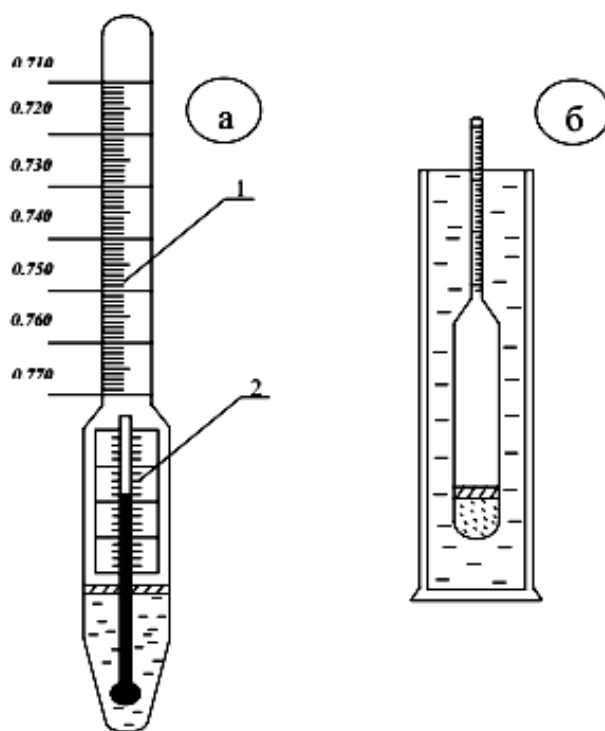


Рис. 7.3. Визначення густини нафтоденсиметром:  
 а – нафтоденсиметр; б – вимірювання густини палива;  
 1а – шкала густини; 2а – шкала температури

Таблиця 7.1

Залежність в'язкості дизельного палива від температури

Паливо дизельне	Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с, при температурі, °С			
	+20	0	-10	-20
літнє	6,36	12,94	20,59	50,92
зимове	4,26	8,36	12,43	20,60

При значних значеннях в'язкості опір настільки зростає, що порушується нормальна подача палива і робота паливного насоса. Тому з метою попередження парафінування паливних фільтрів і значного зростання в'язкості всі тепловози обладнують паливopідігрівачами, які вмикають при зниженні температури повітря до 10 °С і нижче, тобто обмежують в'язкість у межах 6...8 мм<sup>2</sup>/с. З метою попередження зниження циклової подачі, збільшення внутрішніх витоків у насосах і форсунках, зниження тиску впорскування нижня межа в'язкості обмежується на рівні 1,5...1,8 мм<sup>2</sup>/с при температурі 20 °С.

Важливими показниками дизельного палива є його низькотемпературні властивості – температури помутніння та застигання.

*Температурою помутніння* називають температуру, при якій втрачається фазова однорідність палива. На вигляд воно стає мутним. При температурі 0 °С відбувається утворення кристалів льоду. Якщо паливо починає мутніти при нижчій або при більш високій температурі, то це відбувається за рахунок виділення з нього твердих парафінових вуглеводнів.

Паливо втрачає свою прозорість, мутніє також внаслідок виділення мікроскопічних кристалів льоду (у паливі завжди є гігроскопічна вода) і, основне, твердих вуглеводнів. З помутнінням паливо не втрачає рухливості. Кристали мають такі розміри, що проходять крізь елементи фільтрів грубого очищення, але можуть частково або повністю закупорити пори фільтрів тонкого очищення і порушити подачу палива до насосів і форсунок.

*Температура застигання* дизельного палива практично значення не має у зв'язку з тим, що його подача припиняється вже за температури помутніння палива. Нормальна робота дизеля можлива за умови, коли температура застигання палива на 5...10 °С нижча, ніж температура навколишнього повітря, або коли вона на 3...5 °С нижча від температури його помутніння.

Для поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива з нього (при виготовленні) видаляють парафін, додають присадки, що зменшують температуру кристалізації, полегшують фракційний склад і зменшують його в'язкість.

Процес видалення парафіну з палива, який отримав назву *депарафінізації*, полягає у виморожуванні з нього парафіну – дуже складний і знижує цетанове число палива. Тому депарафінізацію використовують тільки для виготовлення арктичних сортів дизельного палива.

Простіший і дешевший спосіб поліпшення низькотемпературних властивостей дизельного палива полягає в застосуванні депресорних присадок, які зменшують температуру його застигання на 10...15 °С, але температура помутніння палива при цьому майже не змінюється.

*Фракційний склад дизельного палива.* Для нормальної роботи дизеля велике значення має утворення рівномірної паливно-повітряної суміші в циліндрі двигуна, для чого важлива не лише якість розпилювання палива форсункою, але і швидкість його випаровування.

*Випаровуваність дизельного палива* характеризується його фракційним складом. Велике значення має швидкість випаровування. Проте значне переважання в паливі легких фракцій негативно позначається на процесі згорання, викликає жорстку роботу.

Паливо, що складається з важких фракцій, повільніше випаровується, не повністю згорає (димний випуск), забруднює двигун відкладеннями нагару й закоксує розпилювачі форсунки. Таким чином, для двигунів тепловозів потрібне дизельне паливо деякого середнього фракційного складу, у якого нема легких і важких фракцій, що дають неповне згорання.

Такі показники, як коксовність, зольність, кислотність, механічні домішки, наявність води, сірки, мають таку дію, як і в бензині, і регламентовані величини. Наприклад, дизельне паливо, що застосовується у двигунах тепловозів, має мінімальну схильність до утворення коксу, а зольність допускається в межах не більше 0,02 %; допустима кислотність палива – не вище 5 мг КОН на 100 мл. Недопустима також наявність у паливі води, оскільки вона викликає корозію паливної апаратури.

Нині дизельне паливо виготовляють в основному з нафти, що містить багато сірчаних сполук (запаси малосірчаних нафт обмежені). При перегонці нафти одержують газойлеві та соляркові дистиляти з вмістом сірки до 1,0...1,3 %. Багато сірки є і в дизельному паливі. Тому його корозійна дія оцінюється наявністю в ньому сірки та кислотністю.

*Вміст сірки та сірчаних сполук у дизельному паливі* в 4...10 разів більший, ніж у бензинах, що спричиняє інтенсивне зношування циліндропоршневої групи. У сучасному дизельному паливі, за різними стандартами, вміст сірки нормується від 0,05 до 1,0 %.

Дизельне паливо з сумарним вмістом сірки не більше 0,2 % не ускладнює роботу двигуна, тому його можна використовувати без обмежень. Однак при переробці сірчаних нафт цю норму



витримати не вдається, тому допускається випуск палива з вмістом сірки до 0,5 %.

Відомо, що підвищення вмісту сірки в дизельному паливі з 0,2 до 0,6 % призводить до збільшення зношування гільз циліндрів і поршневих кілець у середньому на 15 %, а до 1 % – у 1,5 разу. Ступінь впливу сірчаної корозії на двигуни різних конструкцій залежить від їхньої теплонапруженості.

Густина дизельного палива коливається в межах 830...880 кг/м<sup>3</sup> і її величину вписують у маршрут машиніста при набиранні палива. Це необхідно тому, що питомі показники витрат палива нормуються в кілограмах, віднесених до десяти тисяч тонокілометрів брутто (кг/10<sup>4</sup> ткм брутто), кілограмах, віднесених до кіловатгодин (кг/кВт·год), а витрати при екіпіруванні підраховують у літрах (дм<sup>3</sup>).

Показник, що характеризує вміст ненасичених сполук у нафтопродукті, який виражається кількістю грамів йоду, витраченого на реакцію зі 100 г нафтопродукту, отримав назву *йодного числа*. При його визначенні створюються такі умови, коли йод здатний реагувати тільки з олефінами. Йодне число не має перевищувати 6 г на 100 г палива. Чим більше йодне число, тим більше олефінів міститься в паливі і тим гірше воно за якістю. Олефіни при зберіганні та транспортуванні окиснюються з виділенням смол, які порушують систему живлення і збільшують нагароутворення.

## **8. Асортимент, основні показники якості та склад вітчизняних дизельних палив**

Основними виробниками українського дизельного палива є Кременчуцький НПЗ і Шебелинський ГПЗ. Ввезення дизельного палива для продажу на українському ринку здійснюється головним чином з Білорусії, Польщі, Росії, Литви, а також із країн Чорноморського та Середземноморського регіонів (Румунії, Болгарії).

Якість дизельного палива відповідає стандарту – ДСТУ 7688:2015 «Дизельне паливо Євро. Технічні умови» [10], який введено в дію з 01.01.2016 р. Цей стандарт скасовує з 01.07.2016 р. дію усіх попередніх стандартів і технічних умов.

Нафтопереробні заводи України виробляють за ДСТУ 7688:2015 дизельне паливо трьох марок за рівнем екологічної безпеки – Євро3, Євро4 та Євро5.

Дизельне паливо, за ДСТУ 7688:2015, екологічного класу Євро5 відповідає загальним технічним вимогам, встановленим у європейських стандартах EN 590:2013.

За кліматичними умовами використання встановлено такі марки дизельного палива:

Л – літнє, що використовують за температури повітря не нижче ніж 5 °С;

З – 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 фізико-хімічними та експлуатаційними показниками паливо має відповідати вимогам, зазначеним у табл. 8.1.

Умовне позначення дизельного палива містить:

- букви ДП (позначення дизельного палива);
- буквене позначення марки (Л, З, 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 5 %; В7 – понад 5 % і не більше 7 %).

Таблиця 8.1

## Характеристики дизельних палив, за ДСТУ 7688:2015

Показник	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	З	Арк	
1	2	3	4	5
1. Цетанове число, не менше	51	49	48	Згідно з ГОСТ 3122, ДСТУ ISO 5165 та ДСТУ-Н 7622 або ASTM D 613, або EN 15195, або EN 16144
2. Цетановий індекс, не менше	46,0			Згідно з ДСТУ ISO 4264 або ГОСТ 27768, або ASTM D 4737
3. Густина за температури 15 °С, кг/м <sup>3</sup> , у межах	820-845	800-845	800-840	Згідно з ДСТУ EN ISO 3675 або ДСТУ ISO 12185, ДСТУ ГОСТ 31072, або ASTM D 1298, або ASTM D 4052
4. Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше:				Згідно з ДСТУ EN 12916 або EN 12916
Євро5	8			
Євро4	11			
Євро3	11			
5. Вміст сірки, мг/кг, не більше:				Згідно з ДСТУ ISO 20846 або ДСТУ ISO 20846, або EN ISO 20884, або EN ISO 13032
Євро5	10			
Євро4	50			
Євро3	350			
6. Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче:				Згідно з ДСТУ ISO 2719 або ГОСТ 6356, або ASTM D 93, або EN ISO 2719
Євро5	55			
Євро4	55			
Євро3	40			

Продовження табл. 8.1

1	2	3	4	5
7. Коксованість 10-відсоткового залишку, % (мас.), не більше		0,30		Згідно з ДСТУ EN ISO 10370 або ГОСТ 19932, або ГОСТ 8852, або ASTM D 189, або ASTM D 524, або EN ISO 10370
8. Зольність, % (мас.), не більше		0,01		Згідно з ДСТУ EN ISO 6245 або ГОСТ 1461, або ASTM D 482
9. Масова частка води, % (мг/кг), не більше		0,02 (200)		Згідно з ДСТУ ISO 12937 або ГОСТ 2477
10. Масова частка домішок, мг/кг, не більше		24		Згідно з ДСТУ EN 12662 або ГОСТ 6370
11. Корозія мідної пластинки (3 год за температури 50 °С) клас, не більше		1		Згідно з ДСТУ EN ISO 2160 або ГОСТ 6321, або ASTM D 130
12. Окиснювальна стабільність: - г/м <sup>3</sup> , не більше або год, не менше		25 20		Згідно з ДСТУ ISO 12205 або ДСТУ 7684, або ASTM D 2274, або EN 15751
13. Змащувальна здатність: діаметр плями зноування за температури 60 °С, мкм, не більше		460		Згідно з ДСТУ ISO 12156-1
14. Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм <sup>2</sup> /с, у межах	2,00-4,5	1,5-4,0	1,5-4,0	Згідно з ДСТУ ГОСТ 33 або ASTM D 445, або EN ISO 3104

Продовження табл. 8.1

1	2	3	4	5
15. Фракційний склад: - за температури 250 °С випаровується, % (об.), не більше - за температури 350 °С випаровується, % (об.), не менше - 95 % (об.) перегається за температури, °С, не вище		65  85  360		Згідно з ГОСТ 2177 (метод А) або ДСТУ ISO 3924, або ASTM D 86, або EN ISO 3405
16. Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот, %: - для дизельних палив В0 - для дизельних палив В5 - для дизельних палив В7		0  не більше 5  понад 5 та не більше 7		Згідно з ДСТУ EN 14078 або EN 14078
17. Гранична температура фільтрованості, °С, не вище	-5	-20	-30	Згідно з ДСТУ EN 116 або ГОСТ 22254, або EN 16329
18. Температура помутніння, °С, не вище	-	-	-20	Згідно з ГОСТ 5066 (метод Б) або ДСТУ ISO 3015, або ASTM D 2500
19. Вміст марганцю, мг/дм <sup>3</sup> , не більше	-	-	2,0	Згідно з EN 16576

Приклад позначення дизельного палива літнього екологічного класу Євро4 з вмістом метилових/етилових естерів жирних кислот понад 5 % і не більше 7 %:

«Паливо дизельне ДП-Л-Євро4-В7 згідно з ДСТУ 7688:2015».

Позначення палива може містити торгову марку (товарний знак) виробника.

Приклад позначення дизельного палива торгової марки «ХХХ» арктичного екологічного класу Євро3 без вмісту метилових/етилових естерів жирних кислот:

«Паливо дизельне ХХХ-ДП-Арк-Євро3-В0 згідно з ДСТУ 7688:2015».

### **8.1. Вимоги до палив дизелів локомотивів вітчизняного виробництва**

Локомотиви вітчизняного виробництва [22] працюють на дизельному паливі, вимоги до якого встановлює ГОСТ 305-82 (ДСТУ 3868-99).

ДСТУ 3868-99 передбачає дизельне паливо двох марок:

Л (літнє) – для експлуатації дизелів за температури навколишнього повітря не нижче  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; З (зимове) – для експлуатації за температури не нижче  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

За вмістом сірки дизельні палива поділяються на чотири види:

- I - масова частка сірки не більше 0,05 % (50 мг/кг);
- II - масова частка сірки не більше 0,10 % (100 мг/кг);
- III - масова частка сірки не більше 0,2 % (2000 мг/кг);
- IV - масова частка сірки не більше 0,5 % (5000 мг/кг).

Дизельне паливо, що виробляється згідно з цими стандартами, практично не містить присадок і не відповідає вимогам стандартів екологічної безпеки Євро.

Діючий стандарт ДСТУ 7688:2015, за вимогами до дизельного палива, значно перевищує вимоги попередніх стандартів, відповідає вимогам Євро3, 4, 5, тому паливо, вироблене за цим стандартом, без обмежень може використовуватися для дизелів вітчизняних локомотивів.

## 9. Асортимент зарубіжних дизельних палив

Європейський стандарт EN 590 діє в країнах ЄЕС з 1996 р. Стандарт передбачає випуск дизельних палив для різних кліматичних регіонів.

Для районів з помірним кліматом, за стандартом EN 590, виробляють шість марок дизельного палива: А, В, С, D, Е, F з граничною температурою фільтрування, °С, відповідно 5; 0; -5; -10; -15; -20.

Для районів з холодним кліматом цим самим стандартом передбачено випуск п'яти класів дизельного палива з такими низькотемпературними властивостями:

Клас	0	1	2	3	4
Температура, °С, не вище:					
- помутніння	-10	-16	-22	-28	-34
- граничної					
- фільтрації	-20	-26	-32	-36	-44

У табл. 9.1 показано відповідність марок ДП вітчизняного і зарубіжного виробництва.

Таблиця 9.1

Відповідність марок ДП вітчизняного і зарубіжного виробництва

Паливо за ДСТУ 7688:2015	Зарубіжне паливо		
	Марка	Специфікація	Країна
Л	№ 3	JIS 2204-83	Японія
	2 D	ASTM 975-83	США
3	TIP A	CAN 2-3.6-M-83	Канада
	Special	JIS 2204-83	Японія
	1 D	ASTM 975-81	США
А	TIP A	CAN 2-3.6-M-83	Канада

## 9.1. Вимоги до палив дизелів локомотивів зарубіжного виробництва

Вимоги до палив встановлюються стандартами підприємства-виробника дизеля або локомотива (рухомого складу). Наприклад, американські (General Motors, General Electric, Caterpillar) і європейські (MAN, MTU) виробники у своїх рекомендаціях посилаються на власні технічні умови (GEK76679, Cat1280, MAN M3291) або міжнародні стандарти ASTM D-975 та EN590 (табл. 9.2) [1, 2, 16, 18, 23].

Таблиця 9.2

Мінімальні вимоги виробників до дизельного палива

Властивість	ASTM D-975 (№ 2-D)	EN590 КЛАС В	EN590 КЛАС С
1	2	3	4
Температура спалаху, °F	Мінімум 52 °C (125 °F)		
Температура застигання, °F (для ASTM D-975 і класу В)	Макс., на 10 град нижче температури навколишнього середовища при експлуатації і при найхолоднішій погоді		Макс. 0
Вуглецевий залишок на 10 % днища, %	Макс. 0,35	Макс. 0,35	-
Вуглецевий залишок всього палива, %	-	-	Макс. 2,0
Вода і відкладення, об. %	Макс. 0,05	Макс. 0,10	Макс. 0,20
Зола, мас. %	Макс. 0,01	Макс. 0,02	Макс. 0,02
Температура 90 % дистиляції			
°C	282 - 338	Макс. 360	Макс. 371
°F	(540 - 640)	(Макс. 680)	(Макс. 700)
Температура википання, °F	-	Макс. 700	-
Дистиляційний вихід, %	Мін. 99	Мін. 99	Мін. 90



Продовження табл. 9.2

1	2	3	4
В'язкість			
сСт при 40 °С	1,9 - 4,1	1,9 - 4,1	1,9 - 4,1
(сСт при 100 °F)	(2,0 - 4,3)	(1,8 - 7,4)	(2,0 - 7,4)
В'язкість при 100 °F, SSU	32,6 - 40,1	32,6 - 50,0	32,5 - 50
Сірка, мас. %			
0,5 %	5000	Макс. 1,0	Макс. 1,0
0,05 %	част./млн		
0,0015 %	500 част./млн		
	15 част./млн		
Корозія мідної пластинки	Макс. № 3	Макс. № 3	Макс. № 3
Цетанове число	Мін. 40	Мін. 37	Мін. 37
Пентанові нерозчинні речовини, об. %	-	-	Макс. 1,0
Толуолові нерозчинні речовини, об. %	-	-	Макс. 0,5
Каталізаторні тонкі фракції	-	-	Нема
Чистота фільтрації			Макс. 1,3 мг на літр зольного залишку на 0,80-мікронному фільтрі
Домішки елементів, часток, на млн, макс.:			
ванадій	-	-	20
натрій	-	-	5
алюміній	-	-	5
залізо	-	-	10
нікель	-	-	5
Змащувальна здатність (за ASTM 6079)	520 мікрон, макс.	-	-

До дизельного палива висуваються досить жорсткі вимоги за цетановим числом, температурою спалаху; нормуються також окиснювальна стабільність палива, вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів і змащувальна здатність. Використання

палива, що не відповідає вимогам Євро (особливо з підвищеним вмістом сірки) пов'язане зі збільшенням жорсткості робочого процесу, навантажень на деталі циліндропоршневої групи, виходу з ладу паливної апаратури.

Чому саме цим показникам приділяється така пильна увага? Борючись за скорочення викидів в атмосферу і підвищення ефективності робочого процесу, розробники паливних систем постійно збільшують тиск упорскування. У сучасних системах воно досягає 220 МПа. Крім того, впроваджується нова конструкція подачі палива Common Rail. Вона являє собою електронну систему розподілу палива в кожен циліндр двигуна по форсунках з п'єзоелектричною високошвидкісною системою подачі палива до 3...5 підупорскувань робочого заряду палива за один цикл, замість 1 упорскування за робочий цикл двигуна при механічній системі регулювання. При такому робочому процесі для забезпечення більш повного й ефективного згорання необхідно використовувати дизельне паливо з високим цетановим числом.

У дизелях паливо є мастильним матеріалом для деталей паливної апаратури, тому показнику «змащувальна здатність» приділяється значна увага. Сорти палива з низьким вмістом сірки виготовляють з обов'язковим додаванням протизношувальних присадок.

Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) відповідальні за відкладення в камері згорання, на форсунках, а також токсичність відпрацьованих газів. ПАВ як містяться в самому паливі, так і утворюються в камері згорання двигуна. Від вмісту в паливі ПАВ залежить і кількість твердих частинок у відпрацьованих газах дизелів.

Підвищення вимог до температури спалаху дизельного палива знижує його пожежонебезпеку.

Паливо Євро виробляють, як правило, з додаванням пакета присадок: для підвищення цетанового числа, протизношувальної, а в зимовий період часу до палива вводять депресорні та диспергувальні присадки.

Дизельне паливо, вироблене за ДСТУ 7688:2015, значно перевищує мінімальні вимоги виробників, відповідає вимогам EN590-2013, тому може без обмежень використовуватися для дизелів закордонних локомотивів.

## 10. Смоло- і нагароутворення в ДВЗ

Накопичення смол і нагару на деталях двигуна залежить від конструктивних особливостей системи живлення і камери згорання, режиму роботи двигуна [3, 5, 11], а головне – від якості застосованих палив і мастильних олив.

У бензинах, як і в будь-яких нафтопродуктах, майже завжди в розчиненому стані знаходяться смолянисті і смолоутворюючі речовини. Кількість їх залежить від хімічного складу, способу отримання і якості очищення бензину. З часом, а також під дією кисню, повітря і підвищеної температури в паливі відбуваються зміни: збільшується кількість смолянистих речовин.

Смолоутворення в нагрітому бензині та на світлі відбувається швидше, ніж у холодному і в темряві. Тому бензини треба зберігати в герметичній тарі за якомога нижчої температури (краще в підземних сховищах).

Наявність у бензині води, міді, а також свинцю сприяє смолоутворенню, тобто вони є каталізаторами. Особливо швидко смоли утворюються в баках машин при тривалому зберіганні, а також влітку під дією підвищених температур.

Мінеральні кислоти й інші водорозчинні кислі сполуки дуже впливають як на чорні, так і кольорові метали, а луги — лише на кольорові. У свіжому бензині майже не повинно бути мінеральних кислот і лугів, тобто паливо має бути нейтральним. Однак із часом кислотність бензину збільшується.

Наявність активних сірчистих сполук у паливі виявляють випробуванням на мідну пластинку, яку після ретельного очищення витримують у паливі протягом 3 год за температури  $50 \pm 2$  °С. Максимальна кількість сірки в автомобільних бензинах – не більше 0,1 %, в останніх – 0,05, оскільки з її підвищенням зношування деталей двигуна різко зростає. Наявність у паливі сірчаних сполук (особливо дисульфідів і меркаптанів) погіршує його стабільність і сприяє смолоутворенню.

Про наявність смол у паливі можна судити візуально за його кольором. Чим більше в паливі смол, тим інтенсивніше його забарвлення (колір бензину набуває темно-коричневих тонів). Наявність смол у паливі є великою небезпекою для двигуна. Під час роботи смоли відкладаються в карбюраторі, а також

трубопроводах, порушуючи подачу палива, що призводить до нагароутворення і зупинки двигуна. Нагар утворюється на поверхнях клапанів, зумовлюючи їх пригорання.

Зі збільшенням кількості смол у бензині знижується, як правило, його октанове число та зростає кислотність, що спричиняє значну ерозію металу.

Смоли, що знаходяться в бензині в теперішню мить, називають *фактичними*. Їхню кількість визначають випарюванням бензину за певних умов. Вміст фактичних смол нормується в міліграмах на 100 мл бензину. Для різних марок бензину кількість смол знаходиться в межах 2...15 мг на 100 мл.

Смоли, накопичуючись у бензині, осідають у паливних баках, на стінках бензопроводів, у карбюраторі, зменшують прохідні перерізи отворів жиклерів, що калібруються, порушуючи нормальну роботу системи живлення. При утворенні горючої суміші важкі вуглеводні палива не випаровуються повністю, а залишаються у вигляді конденсату. Тим більше не можуть випаровуватися смолисті сполуки, які мають велику молекулярну масу. Ці сполуки відкладаються на стінках всмоктувального колектора і клапанах. Особливо небезпечне накопичення смол на напрямних втулках випускних клапанів, що викликає їх зависання, пригорання і порушення робочого процесу двигуна. Найбільш інтенсивне накопичення смол відбувається на гарячих стінках трубопроводів, де смолисті речовини поступово ущільнюються і утворюють тверді нагаровідкладення, які зменшують площу перерізу трубопроводу, викликаючи тим самим зниження потужності й економічності двигуна. Відкладення нагару на поверхні камери згорання може служити причиною замкнення електродів свічки.

*Дизельне паливо*, що містить значну кількість смолистих сполук, не в змозі повністю згоріти, що сприяє накопиченню нагару.

Нагаровідкладення накопичуються на клапанах і головці поршня, у камері згорання, на соплах форсунок і у вихлопній системі. Вони викликають швидкий знос деталей циліндропоршневої групи, пригорання поршневих кілець і клапанів, погіршення розпилу палива, знижують, а іноді і припиняють його подання в циліндр двигуна. При підвищенні

нагаровідкладень погіршується відведення теплоти і відпрацьованих газів, що призводить до перегрівання двигуна і падіння його потужності.

*До складу нагару входять* вуглецеві продукти (92...96 %) – кокс, смолисті речовини, олива і негорюча частина (4...6 %) – кремній, залізо, свинець та ін. У нагарі можуть бути наявними сірка (при роботі двигуна на сірчистому паливі), а також інші речовини, що потрапляють до камери згорання з паливом, повітрям або оливою.

Вплив властивостей дизельного палива на утворення відкладень у двигуні оцінюють коксівністю, зольністю і йодним числом.

*Коксівність* – це здатність нафтопродукту утворювати кокс під час згорання. Коксівність оцінюється коксовим числом.

*Коксове число* характеризує здатність палива утворювати вугільний залишок за високотемпературного (800...900 °С) розкладання палива без доступу повітря. Коксівність палива залежить від хімічного складу і наявності в ньому продуктів окисної полімеризації, а також від кількості вуглеводнів, що мають низьку термоокисну стабільність. Коксівність дизельного палива має бути не більше 0,3 %, а палива підвищеної якості – не більше 0,035 %.

Показник, що характеризує вміст ненасичених сполук у нафтопродукті, який виражається кількістю грамів йоду, витраченого на реакцію зі 100 г нафтопродукту, називається *йодним числом*. При його визначенні створюються такі умови, коли йод здатний реагувати тільки з олефінами. Йодне число не має перевищувати 6 г на 100 г палива.

Схильність палива до *лакоутворення* оцінюють за вмістом лаку в міліграмах на 100 мл палива, для чого випаровують невелику кількість палива у спеціальному лакоутворювачі при температурі 250 °С.

*Зольність палива* характеризує вміст у ньому домішок, що не згорають. Наявність золи підвищує нагароутворення. Зола, яка потрапляє в оливу, викликає прискорений знос деталей. Допустимий вміст золи в дизельному паливі 0,01...0,02 %.

*Інтенсивність* утворення нагару залежить від властивостей палива, наявності в ньому сірки, смол, золи, а також навантаження і температурного режиму двигуна.

*Вплив сірки* на утворення нагару пов'язаний з більш ефективним процесом окисної полімеризації вуглеводнів у присутності сполук сірки, у тому числі продуктів її згорання.

Вміст сірки в паливі також впливає на утворення відкладень. Чим вище її вміст у паливі, тим більше нагару і лаку утворюється при його згоранні. Сірчисті сполуки, які накопичуються в нагарі, підвищують його щільність. Схильність до нагароутворення зростає при збільшенні вмісту в дизельному паливі ароматичних вуглеводнів.

*Наявність меркаптанів*, сприяючи утворенню смол разом зі смолами з олефінів і фактичними смолами, які є у паливі, призводить до осадження на запірних голках лакової плівки (з часом це зумовлює зависання голок розпилювача форсунок). Сірка в паливі шкідлива тому, що при роботі двигуна на сірчистому паливі утворюється більше нагару, інтенсифікується процес старіння оливи.

Розрізняють *дві фази відтворення нагару*: його зростання і рівноважний стан. Збільшення нагару до граничного значення за товщиною залежить від температурних умов, якості палива, оливи і складу суміші. Закінчується ця фаза досить швидко. Після того як шар нагару за висотою досягне граничної величини, яка залежить від теплового режиму двигуна, збільшення товщини нагару припиняється і настає фаза рівноважного стану. При цьому нагар, що знову утворюється, вже не накопичується на деталях, а вигорає і разом з продуктами згорання виноситься у випускний тракт.

Вміст смолистих речовин у дизельних паливах оцінюється так само, як і у бензинах, *визначенням вмісту фактичних смол*. З підвищенням вмісту фактичних смол у дизельному паливі схильність до нагароутворення зростає. Одна з вимог до якості дизельного палива – вміст фактичних смол не повинен перевищувати 36...60 мг на 100 мл. Фактичні смоли, що є в дизельному паливі, – це домішки, які залишилися після очищення базових дистилатів.

Наявність смол у паливі також збільшує нагар і закоксованість кілець. Тому кількість їх у паливі суворо обмежується стандартом. Проте на утворення нагару в камері згорання впливають не тільки смоли, а й фракційний склад палива та в'язкість і, як наслідок, погане розпилювання палива, неповне його випаровування та згорання, що призводить до утворення високотемпературних відкладень, продукти яких осідають на деталях двигуна.

На процес нагароутворення впливають також якість неорганічних домішок, стабільність палива і наявність у ньому неграничних вуглеводнів. Про кількість останніх судять за водневим числом. Найбільше на цей процес впливає зниження тиску впорскування, через що різко погіршується якість розпилювання палива. Ось чому не рекомендується тривала робота дизелів на малих обертах і холостому ході.

Внаслідок окиснення олефінів при транспортуванні та зберіганні дизельного палива кількість фактичних смол у ньому збільшується, що погіршує нормальну роботу системи живлення двигуна. Якщо смоли потрапляють до камери згорання, утворення нагару на деталях двигуна збільшується, що погіршує його економічні й тягові показники.

## 11. Поліпшення якості нафтових палив

Для поліпшення показників бензину і дизельного палива до них можуть бути додані спеціальні присадки [7] (перекис тетраліну, перекис ацетилу, хлор та ін.). Додавання незначної кількості цих речовин у паливі усуває окремі його недоліки.

*Присадки* – це речовини, які додаються до нафтопродукту (палива або мастильного матеріалу) для надання йому спеціальних властивостей або підсилення природних.

Присадки можна поділити на чотири групи:

- які поліпшують процес згорання палива – антидетонатори, протидимні (зменшують нагароутворення й скорочують затримку самозаймання);

- які сприяють збереженню первинних показників якості палива – антиокиснювальні, диспергуючі (перешкоджають осаджуванню на деталях двигуна твердих продуктів з палива), діактиватори металів;

- які зменшують шкідливу дію палива на паливну апаратуру - протизношувальні, антикорозійні;

- які полегшують експлуатацію двигуна за низьких температур – депресорні (знижують температуру застигання палив) і присадки, що перешкоджають виділенню кристалів льоду та парафіну.

До бензинів найчастіше додають антидетонаційні та антиокиснювальні присадки. Для поліпшення низькотемпературних властивостей дизельних палив виконують їхню часткову депарафінізацію і додають спеціальні присадки (депресори). Температуру застигання можна знизити введенням депресорної присадки (наприклад АзНИИ-ЦИАТИМ-1).

Існують присадки, які дозволяють підвищити цетанове число дизельного палива. До таких присадок належать хлорпикрин, аміннітрат, перекис ацетилу, перекис ацетону, етилнітрат та ін. Є також присадки, які покращують пускові властивості дизельного палива і знижують температуру його застигання. Найбільш відомим представником таких присадок є етиловий ефір.

З метою додаткового поліпшення процесів згорання, зменшення шкідливих викидів, зниження нагаровідкладення на



деталях циліндропоршневої групи і розпилювачах форсунок застосовуються паливні присадки СП-2, НТ-204У, ВНИИНП-101 (Росія), F-11 (Франція), Перолин-622ДЕ, Dodiflow 3905 (ФРН), Dipetane (Ірландія), Адизоль Т-4 (Росія, Фінляндія) та ін. Досвід їх використання показує, що додавання до 1 % присадки в паливо дозволяє досягти економії дизельного палива до 10 %, знизити викид оксидів вуглецю на 20 % і оксидів азоту на 10...15 %.

Руйнівну дію кислот нейтралізують додаванням у дизельне паливо антикорозійних присадок, з яких найефективнішим є нафтенат цинку (0,23...0,3 %). Дизельне паливо з умістом сірки більше 0,2 % використовують тільки за умови, якщо двигун працює на оливі з антикорозійною присадкою.

Багатофункціональна присадка GASOLINE TREATMENT до бензину рекомендується для використання при обкатці нових двигунів, роботі двигуна з великими навантаженнями, а також після заміни деталей поршневої групи, клапанів, напрямних втулок та інших. Вона має такі властивості:

- очищує карбюратор від відкладень;
- сприяє підвищенню якості горючої суміші;
- зменшує токсичність відпрацьованих газів;
- зменшує утворення нагару в камері згорання і на клапанах;
- нейтралізує дію води;
- змащує клапани і верхню частину циліндра.

Відомі спеціальні присадки (домішки) для поліпшення певної властивості. Присадка BIG BOOST CETANE LUB K&W KW 5332 (фірма AGA) підвищує цетанове число від 2 до 6 одиниць залежно від якості дизельного палива, тобто зменшує жорсткість роботи двигуна. Подібною є дія присадки OCTANE GAS BOOSTER PRIZE PENN 403405 (фірма AGA). Вона підвищує октанове число бензину на 4...6 одиниць, підтримує бензобак у чистоті, очищує паливну систему. Кисневмісна домішка ТУРБО-ОКТАН 115 підвищує октанове число бензину, усуває детонацію, зменшує токсичні викиди за рахунок ефективного згорання палива. Депресорна домішка до палива DIESEL ANTIFREEZE (фірми BARDANL) полегшує запускання двигуна при низьких температурах, покращує плинність дизельного палива, знижує температуру точки замерзання палива, покращує фільтрацію і запобігає утворенню відкладень у фільтрах і системах впорскування.

Таку саму дію чинить присадка DRY FUEL+PLUS+ і Аспект-модифікатор, які зв'язують і нейтралізують воду, що запобігає її замерзанню в паливній системі, попереджає корозію, покращує екологічні показники двигуна.

На тепловозах залізниць України широко застосовувалася багатофункціональна присадка палив «Адізоль Т-6» (анамегатор) науково-виробничого підприємства «ADIOZ». Ця депресорна присадка покращує низькотемпературну плинність палива за рахунок дроблення кристалів парафіну на дрібнозернисті частинки. Полегшується так само пуск холодного двигуна за рахунок утворення перекисів у паливі, сприяє повнішому згоранню, зниженню питомих витрат палива.

На сьогодні відомо близько п'ятдесяти типів присадок до палива. Їхній світовий асортимент налічує декілька десятків тисяч товарних марок. Частково асортимент присадок, здебільшого до дизельного палива, наведено в табл. 11.1.

Таблиця 11.1

Асортимент присадок до палив

Тип присадки	Паливо	Концентрація, %	Приклад активного компонента	Призначення
1	2	3	4	5
Модифікатори займання				
Антидетонатори	Бензини	0,01-0,1	Металорганічні сполуки свинцю, заліза і марганцю; органічні сполуки лужних металів	Запобігають передчасному займанню бензину у двигунах з примусовим займанням
Промотори займання	Дизельні палива	0,05-0,5	Алкілнітрати, алкілперокси	Підвищують цетанове число палив за рахунок створення вільних радикалів, що ініціюють самозаймання

Продовження табл. 11.1

1	2	3	4	5
<b>Модифікатори горіння</b>				
Антидимні	Дизельні палива	0,05-0,2	Паливорозчинні сполуки барію, заліза, марганцю й інших металів	Прискорюють вигорання сажі на останніх стадіях процесу горіння палива. Заміняються на мийні присадки
Антисажові	Дизельні палива	0,001-0,05	Паливорозчинні сполуки заліза, міді, цезію й інших металів	Перешкоджають забрудненню фільтрів сажі, що знижує температуру вигорання сажі до температури відпрацьованих газів
Антинагарні	Дизельні палива	0,05-0,1	Термостійкі ПАР у поєднанні з каталізаторами горіння і модифікаторами нагару	Перешкоджають утворенню нагару в камері згорання, запобігають закоксуванню поршневих кілець
Ініціатори горіння	Бензини і дизельні палива	0,001-0,01	ПАР з додаванням домішок малих кількостей беззольних промоторів горіння: нітратів, пероксидів	Інтенсифікують процес горіння палива
<b>Стабілізатори</b>				
Стабілізатори комплексного типу	Дизельні палива	0,01-0,05	Композиції антиоксидантів, деактиваторів металів, нейтралізуючих агентів і диспергаторів	Запобігають смоло- і осадотворенню в результаті окиснення та інших реакцій ущільнення

Продовження табл. 11.1

1	2	3	4	5
Киснепоглинаючі	Реактивні і дизельні палива	0,01-0,05	Гідразин	Реагують з киснем, розчиненим у паливі, утворюючи неактивні сполуки
Диспергуючі	Реактивні і дизельні палива	0,001-0,01	ПАР: сульфонати, аліфатичні аміни, сукциниміди, основи Манніха алкілфенолів	Диспергують смолянисті сполуки, переводять у розчин осади і відкладення, які випали
Мийні				
Очисники впускних клапанів (у двигунах інжекторного типу)	Бензини	0,05-0,1	Полібутенаміни, поліефіраміни	Запобігають утворенню відкладень в карбюраторі і на поверхні впускних клапанів двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину
Очисники розпилювачів форсунок (у двигунах інжекторного типу)	Дизельні палива	0,05-0,1	Сукциниміди; оксietильовані алкілфеноли	Запобігають утворенню коксу на розпилювачах форсунок, що зберігає їх оптимальні гідравлічні характеристики

Продовження табл. 11.1

1	2	3	4	5
Присадки для експлуатації палив при низьких температурах				
Депресорні	Дизельні і залишкові палива	0,01-0,1	Сополімери олефінів з вінілацетатом; поліакрилати	Запобігають зростанню кристалів парафінів і утворенню просторової структури. Використовуються разом з диспергаторами парафінів
Диспергатори парафінів	Дизельні палива	0,01-0,1	Азотвмісні ПАВ різної будови; високомолекулярні полімери	Диспергують парафіни, запобігаючи початку їх кристалоутворення. Забезпечують стабільність дизельних палив в умовах холодного зберігання
Антиобледенільні	Бензини і дизельні палива	0,01-0,05	ПАР різного складу, зокрема компоненти мийних присадок	Запобігають обмерзанню паливної апаратури, утворюючи на поверхні захисну плівку
Протидокристалізуючі	Реактивні та інші види палива	0,5-2,0	Спирти; целозольви	Утворюють низько замерзаючі суміші з водою, яка розчинена в паливі
Модифікатори тертя				
Протизносні	Бензини, реактивні і дизельні палива	0,01-0,1	Карбонові кислоти і їхні похідні, жир	Утворюють на поверхні тертя плівку, що захищає її від зносу

Продовження табл. 11.1

1	2	3	4	5
Антифрикційні (паливо-зберігаючі)	Бензини і дизельні палива	0,01-0,05	Сполуки молібдену, ПАР	Підвищують механічний ККД двигуна за рахунок зниження втрат на тертя
Припрацювальні	Дизельні палива	0,05-0,2	Сполуки алюмінію, хрому і інших металів, продукти згорання яких мають абразивну і поліруючу дію	Прискорюють обкатку двигунів і паливної апаратури
<b>Антикорозійні</b>				
Антиржавіючі (захисні)	Усі види палив	0,005- 0,05	Похідні алкенил-лянтарного ангідриду, амідни і комплексні солі сульфокислот	Зменшують електрохімічну корозію металів на межі розділу баз паливо – повітря, паливо – вода
Антикорозійні (низькотемпературна корозія)	Усі види палив	0,0005-0,005	Речовини, що нейтралізують продукти згорання сірчистих сполук; ПАР, що перешкоджають потраплянню агресивних продуктів на поверхні	Знижують хімічну корозію, що викликана агресивними продуктами згорання палива або продуктами гідролізу компонентів палив і присадок
<b>Модифікатори колоїдно-хімічних властивостей</b>				
Диспергуючі	Залишкові палива	0,05-0,2	Діалкілнафталіни, ПАР різної природи	Запобігають розшаруванню палива при зберіганні і покращують його розпилювання

Продовження табл. 11.1

1	2	3	4	5
Діемульгатори	Дизельні і залишкові палива	0,005-0,01	Оксіетіловані спирти, кислоти й інші ПАР	Прискорюють відділення води від палива. Вимагають відстоювання
Загущувальні	Дизельні палива з газових конденсатів	0,05-0,3	Поліметакрилати	Збільшують в'язкість дизельних палив, що отримуються з газових конденсатів, і тим самим покращують їхні мастильні властивості

## 12. Альтернативні види палива

Останнім часом, після декількох енергетичних та економічних криз, у світі посилюється інтерес до пошуку так званих альтернативних видів палива для ДВЗ [17]. При цьому розуміється альтернатива саме рідкому нафтовому паливу, запаси якого обмежені і ціна на яке росте швидше за ціни на інші види палива.

На сьогодні нафта є чи не єдиним джерелом для виробництва моторних палив – близько 50 % добутої нафти іде на зазначені потреби. До того ж транспорт, який працює на нафтовому паливі, є наймасовішим забруднювачем навколишнього середовища викидами відпрацьованих газів (суміші продуктів згорання та вуглеводів, що не згоріли, і наддувного повітря), шкідливих речовин з систем живлення паливом, змащення та вентиляції картерів двигунів. Економія нафтових палив є актуальною для України ще й тому, що вона є країною-імпортером – близько 11 млн т нафти імпортується.

Саме в такому плані – пошуку використання більш екологічно чистого, дешевого, менш дефіцитного палива – слід розглядати проблему альтернативних видів палива і нових джерел енергії.

Головними вимогами до альтернативних видів палива є такий рівень фізико-хімічних властивостей, який би забезпечив можливість застосування цих палив без суттєвої зміни конструкції двигуна та паливної системи, а також збільшення економічної ефективності і покращення екологічних показників роботи двигуна.

Але в будь-якому разі переобладнання двигунів транспортних засобів на роботу на альтернативних видах палива призведе до певних капітальних витрат, у тому числі на інфраструктуру, але має позитивно позначитися на експлуатаційних витратах і екологічних показниках роботи двигунів.

Загальну класифікацію альтернативних видів палива наведено на рис. 12.1.

Найближчою альтернативою дизельному паливу для тепловозів вважається природний газ, за використанням якого на тепловозах вже отримані позитивні результати. Для



транспортних цілей можливо використання природного газу у двох станах: зрідженому і стисненому.

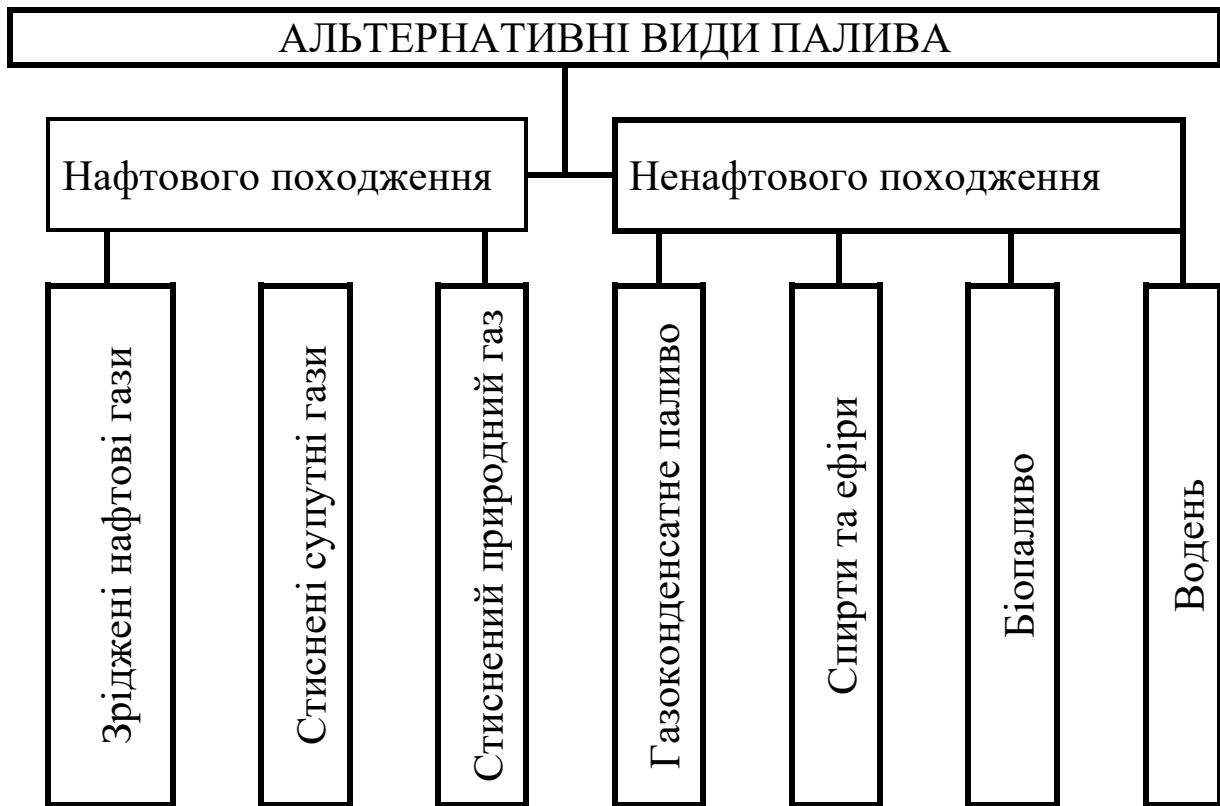


Рис. 12.1. Класифікація альтернативних видів палива

*Зріджені нафтові гази* одержують як побічний продукт при деструктивній переробці нафти (близько 30 % від виходу бензину) і супутнього нафтового газу. Основними компонентами цих газів є пропан ( $C_3H_8$ ), бутан ( $C_4H_{10}$ ), їхні похідні і суміші в різних пропорціях і природний газ метан ( $CH_4$ ).

Порівняно з нафтовим паливом зріджений газ має такі переваги:

- в 1,5...2 рази дешевше;
- більш висока детонаційна стійкість (октанове число  $\approx 105$ ), за рахунок чого можна застосовувати більш високі ступені стиснення і, як результат, підвищити потужність та економічність двигуна;
- двигун на ньому працює м'якше, ресурс збільшується приблизно в 1,5 разу;
- термін служби моторної оливи зростає у 2...2,5 разу;

- практично не містить сірки, яка викликає корозію деталей і їх знос;

- знижує токсичність відпрацьованих газів (за оксидом вуглецю – у 3...4 рази, за оксидом азоту – в 1,2...2 рази, за вуглеводнем – у 1,3...1,9 разу);

- не накопичує смолянисті відкладення, оскільки нафтовий газ розчиняє їх.

За дослідницьким методом октанове число пропану становить 120, а бутану – 93. Це забезпечує форсування двигунів техніки зі ступенем стиснення до 8,5...9 та дає змогу збільшити їхню потужність. Але при переведенні двигуна на зріджений газ потужність падає на 3...4 %.

У 80-ті рр. ХХ ст. були розпочаті роботи з переобладнання дизелів тепловозів до роботи на природному газі, запас якого в зрідженому стані зберігається в спеціальних ізотермічних ємностях завдяки збереженню низької температури (близько мінус 160 °С). Двосекційний тепловоз 2ТЕ116 був оснащений третьою, проміжною кріогенною секцією і отримав позначення 2ТЕ116Г (виготовлений Луганським тепловозобудівним заводом). Проте економічні і політичні події не дали можливості завершити ці роботи до кінця.

Нині зріджений газ застосований на газотурбовозі ГТ1 з ГТД потужністю 8300 кВт за замовленням ВАТ РЖД для водіння вантажних потягів підвищеної довжини і маси.

Більший досвід роботи дизелів тепловозів на стисненому газі. Науково-дослідні роботи виконувалися у ВНДІЗТ (з поданням стисненого газу до повітряного ресивера) і в ХПТі, нині УкрДУЗТ (з поданням стисненого газу безпосередньо до камери згорання дизеля) на маневрових тепловозах ТЕМ 2У. Обидва варіанти дали позитивні результати, і Брянський машинобудівний завод освоїв випуск маневрових тепловозів ТЕМ18Г. Муромським заводом була випущена дослідна партія маневрових тепловозів малої потужності (314 кВт), оснащених спеціальним візком з двома контейнерами з газовими балонами. У газодобувній промисловості широко використовується газ як паливо для стаціонарних дизелів 11Д100 виробництва заводу ім. В. А. Малишева (м. Харків).

Проходить випробування двосекційний маневровий газотурбовоз, оснащений газотурбінним двигуном ГТД 1000 та електричною передачею потужності. Друга секція є тяговим бустером і сховищем стисненого природного газу. На бустері встановлено 48 балонів з тиском 25 МПа, що містять близько 3000 кг метану, якого вистачає для роботи в маневровому режимі близько семи діб.

Значно ширше природний газ застосовується на автомобільному транспорті. Для автомобільних двигунів за ГОСТ 27578-87 («Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия») випускаються два види палива (табл. 12.1):

- ПА – пропан автомобільний, який застосовується взимку при температурі повітря -20 ...-35 °С;

- ПБА – пропан-бутан автомобільний, який застосовують за температури повітря вище -20 °С.

Таблиця 12.1

Характеристики зріджених газів, за ГОСТ 27578-87

Показник		ПА	ПБА
Масова частка компонентів, %	пропан	90±10	50±10
	неграничні вуглеводні, не більше	6	6
Надлишковий тиск насичених парів, МПа, при температурі	+45 °С, не більше	1,6	1,6
	-20 °С, не менше	-	0,07
	-35 °С, не менше	0,07	-
Масова частка сірководню, %, не більше		0,003	0,003
Масова частка сірки і сірчистих сполук, %, не більше		0,01	0,01
Вміст вільної води та лугів		відсутні	

Для використання зріджених газів як моторне паливо достатньо встановити на машину тонкостінний балон (об'ємом до 250 л і робочим тиском 1,57 МПа), змішувач, редуктор-дозатор і паливовипаровувач для випаровування газу. Переобладнаний двигун може також працювати і на бензині (у разі повної витрати газу або важкого запуску двигуна при низьких температурах).

Зріджені гази не мають кольору і запаху, знайти їх витік практично неможливо, тому в ці гази додають спеціальні речовини — одоранти. Найчастіше як одорант застосовують етилмеркаптан ( $C_2H_5SH$ ), який має різкий неприємний запах.

*Стиснені гази*, що використовуються як моторні палива, одержують з родовищ природного газу (стиснений природний газ) і попутних газів нафтових родовищ (стиснений нафтовий газ). Основним компонентом цих газів є метан ( $CH_4$ ), але є й інші вуглеводні (табл. 12.2), а також вуглекислий газ, кисень, азот, водень та ін. Із усіх вуглеводневих газів метан містить максимальну кількість водню на один атом вуглецю і завдяки цьому має високу теплотвірність, достатньо широкі межі займистості та низький вміст токсичних речовин у продуктах згорання.

В експлуатації гази з нафтових і газових родовищ не поділяються і мають загальну назву – стиснений природний газ.

Таблиця 12.2

Вміст вуглеводнів у природних газах

Компоненти, %	Нафтовий газ	Природний газ
Метан	40...82	82...98
Етан	4...20	до 6
Пропан		до 1,5
Бутан		до 1

Інтенсивне використання стисненого природного газу як моторного палива обумовлено такими його перевагами перед зрідженими нафтовими газами:

- цей газ безпечніший, оскільки він легший за повітря, і при виитоках швидко випаровується;
- має меншу вартість;
- більш поширений у природі;
- відпрацьовані гази екологічно більш чисті (зменшення шкідливих речовин у викидах, особливо  $CO$ , порівняно з бензиновими двигунами може досягати 90 %).

Стиснений природний газ дозволяє на 35...40 % збільшити моторесурс двигуна за відсутності на його деталях нагару. За рахунок зменшення забруднення і розрідження подовжується у

2...3 рази термін служби моторної оливи. Висока детонаційна стійкість (октанове число в межах 102...103) забезпечує м'яку роботу двигуна і можливість форсувати двигун за ступенем стиснення. За енергетичними параметрами 1 м<sup>3</sup> природного газу прирівнюється до 1 л бензину.

Промисловістю виробляються дві марки стисненого природного газу: А і Б, які, за технічними умовами ТУ 51-16.6-83, відрізняються вмістом метану та азоту.

*Основний недолік* природного газу як моторного палива полягає в меншій (у 1000 разів) об'ємній енергогустині порівняно з рідкими нафтовими паливами. Окрім того, до недоліків природного газу слід віднести:

- виділення в атмосферу метану (природний газ дуже швидко випаровується);
- ускладнення з пуском двигуна в холодну пору року, що пояснюється більш високою температурою запалювання і самозаймання природного газу (187 і 517 °С відповідно);
- зниження технічних характеристик двигуна: потужності на 18...20 %, максимальної швидкості на 5...6 %;
- збільшення часу розгону на 24...30 %;
- збільшення трудомісткості обслуговування двигунів на 7...8 %;
- підвищення вимог відносно вибухо- та пожежобезпеки.

Головним недоліком газобалонної апаратури для стиснених газів, що встановлюється на транспортний засіб, є її маса. Балон з легованої сталі місткістю 50 л з газом під тиском 20 МПа важить 62,5 кг, а балон з вуглецевої сталі – 93 кг. Повна заправка восьми балонів, маса яких складає 14 % вантажопідйомності автомобіля, забезпечує 200...280 км пробігу. Зменшити масу балонів можна шляхом застосування легких композитних матеріалів, які в три рази менше порівняно зі сталевими.

Недоліком природного газу є його істотно менша величина теплоти згорання на одиницю об'єму порівняно з дизельним паливом. У стисненому стані при тиску близько 20 МПа (ступінь стиснення – 200) теплота згорання природного газу в чотири рази нижча, ніж у дизельного палива. Навіть у зрідженому стані (при температурі -162 °С) об'ємна теплота згорання природного газу складає лише 21 МДж/л проти 39 МДж/л у дизельного палива. Для отримання однієї і тієї самої роботи замість 1 кг дизельного

палива необхідно витратити приблизно 3,8 кг природного газу. Це створює певні труднощі при створенні потужних транспортних засобів на природному газі, збільшуючи масу запасу палива, що перевозиться.

Проте незважаючи на те, що стиснений газ, безумовно, дешевше зрідженого і використати його технічно простіше, він не може бути застосований на магістральних локомотивах. Пробіг локомотива на стисненому газі обмежується розмірами місткостей для нього. Для того щоб двигун на стисненому газі мав здатність виробити ту саму кількість теплової енергії, що і дизель тепловоза, об'єм газу в резервуарах газотепловоза має бути в п'ять разів, а маса газу в них в чотири рази більше (не враховуючи маси самих резервуарів, що витримують тиск газу 20 МПа). Уявити собі товстостінний балон місткістю 40 м<sup>3</sup> на секції тепловоза неможливо. Отже, стиснений газ може застосовуватися саме на локомотивах з обмеженим радіусом дії – маневрових, таких як ТЕМ18Г, газові резервуари якого мають ємність 8 м<sup>3</sup>, або на ще менш потужних промислових. За наявності в депо парку таких газотепловозів потрібні потужні компресорні станції для забезпечення заправки тепловозів за нетривалий час. Робота локомотива на газі не виключає потреби в дизельному паливі, витрати якого можуть досягати 50 % загальних витрат.

Таким чином, для магістральних локомотивів з відмічених причин може бути застосований лише зріджений природний газ, при використанні якого виникають проблеми, пов'язані з експлуатацією криогенної техніки, труднощами організації екіпірування газотепловозів паливом, що має температуру мінус 160...170 °С.

Необхідність задоволення зростаючих потреб в енергії у поєднанні з дефіцитом найбільш ефективних видів моторного палива (нафти і газу) призводить у всьому світі до відродження широкого використання *кам'яного вугілля в енергетиці*.

Запаси кам'яного вугілля на земній кулі ще досить великі. Вони перевищують на порядок запаси нафти і газу. Вважають, що кам'яного вугілля людству вистачить ще на 150...200 років, тому, природно, потрібне оцінювання можливостей використання цього виду палива для тяги потягів не лише за допомогою

електричної енергії, виробленої на теплових електростанціях, але і безпосередньо на автономних локомотивах.

*Процес отримання палива з вугілля* відбувається у дві стадії:

- спочатку вугілля або смолу розтирають з важкими олівами до утворення пасти, а потім гідрують під тиском 25...70 МПа в присутності каталізатора - заліза;

- одержану пасту переганяють, а фракції з температурою кипіння понад 325 °С знову піддають гідрогенізації (гідруванню), що полягає в приєднанні водню до хімічних елементів або сполук під впливом каталізатора (металів, оксидів). Залежно від умов проведення процесу продуктами переробки можуть бути тільки бензин або бензин, дизельне паливо і мазут.

*Синтетичне рідке паливо* для ДВЗ отримують синтезом із суміші водню й оксиду вуглецю, які виробляють з нафтових речовин, природних газів і вугілля. У результаті цього одержують бензин, високоякісне дизельне паливо і парафін. Синтезують також високоякісні компоненти палив (наприклад ізооктан, алкілбензол), що підвищують антидетонаційні властивості.

Рідке синтетичне паливо отримують також із смол, які утворюються при напівкоксуванні вугілля, торфу і сланців. Отримана смола за своїм складом нагадує нафту і використовується для вироблення синтетичного рідкого палива і мастильних олів. Отримання рідкого палива зі смоли робиться її перегонкою з подальшим крекінгом важких залишків. Фракції при перегонці смоли піддають очищенню, після якого виходить товарна продукція.

Великим резервом рідкого палива є *бітумінозні дрібно- і крупнозернисті кварцові піски і піщаники*. За вмістом бітумів вони поділяються на три групи. Вміст бітумів у першій групі – більше 10 % (за масою), другій – від 4 до 10 %, третій – не більше 4 %.

Але виробництво 1 т синтетичного палива потребує від 3 до 6 т вугілля, тому це паливо поки що в 1,5...2 рази дорожче за бензин і практично не застосовується.

У зв'язку з достатнім розвитком газових двигунів внутрішнього згорання, у тому числі і на основі робіт із застосуванням природного газу на тепловозах, у більшості випадків спроби і способи використання кам'яного вугілля на локомотивах цих типів (тепловозах і газотурбовозах)

ґрунтуються на газифікації твердого палива і спалюванні генерованого газу в локомотивних енергетичних установках, пристосованих для цього. З розробленістю і реальністю здійснення найбільш очевидні з цих способів можна розглянути в такій послідовності.

*Газогенераторні тепловози.* Цей тип автономного локомотива на твердому паливі був би найбільш реальним і доступним для здійснення і використання на залізницях країни практично сьогодні ж, оскільки є досвід створення таких тепловозів і експлуатації їх на залізницях СРСР і КНР майже 70 років тому – у 1950-х рр. Ефективність використання вугілля на газогенераторних тепловозах була помітно вище, ніж на паровозах того часу.

Проте газифікація вугілля на транспортних газогенераторах відбувається менш ефективно, ніж це можливо в стаціонарних умовах, де ККК процесу може досягати 80 %. Теплота згорання газу, що отримується в результаті газифікації вугілля, або точніше об'ємна теплота згорання робочої суміші при однаковому коефіцієнті надлишку повітря, виявляється нижче, ніж у звичайного дизельного палива. У результаті для отримання рівноцінної тягової потужності локомотива потрібно значне збільшення робочого об'єму двигуна (кількості або розмірів циліндрів). Вартість такого тепловоза буде на 25...30 % вище, ніж традиційного дизельного тієї самої потужності. Вартість експлуатації таких локомотивів також буде вище, оскільки для них потрібні додаткові екіпірувальні пристрої та операції при їх обслуговуванні: зберігання і попередня підготовка вугілля, його завантаження, очищення і видалення шлаку, які раніше були притаманні паровозній тязі.

Велике значення має і екологічний бік процесу. У складі вугілля міститься більше інертних і шкідливих домішок, тому при їх спалюванні збільшується забруднення атмосфери оксидами сірки.

*Газотурбінна локомотивна установка на твердому паливі* може бути здійснена двома шляхами: на генераторному газі, тобто з газогенератором, і пилоподібним вугільним опалюванням.

*Перша схема* (газогенераторний газотурбовоз) аналогічна розглянутій вище схемі газогенераторного тепловоза з усіма її недоліками. Оскільки газотурбінні установки використовують на



локомотивах великої потужності, то в цьому випадку потрібен і газогенератор більшої продуктивності. Сферою можливого застосування такого газогенераторного локомотива може бути швидкісний пасажирський рух на неелектрифікованих лініях.

*Друга схема* вимагає попередньої підготовки пилоподібного вугілля в стаціонарних умовах або на самому локомотиві. Принципово ця схема можлива, але вона не бездоганна в екологічному відношенні, оскільки пов'язана з концентрованим викидом так званої «леткої золи». Робота турбіни на пилоподібному паливі неминуче пов'язана з інтенсивним абразивним зносом її соплового апарата і лопаток.

Незважаючи на всі мінуси, не виключено, що цей шлях зниження споживання дизельного палива і природного газу може бути затребуваний у майбутньому.

*Паросилові енергетичні установки.* Оскільки застосування твердого палива на локомотивах розглядається як варіант альтернативи рідкому паливу, то періодично виникають пропозиції про «повернення до паровоза», тобто про використання для локомотивів паросилової енергетичної установки на сучасному технічному рівні.

Для можливості ефективного використання паросилової енергетичної установки в ролі ЛЕУ автономного локомотива потрібне вирішення цілого ряду складних технічних завдань на сучасному рівні науки і техніки:

- застосування багатоциліндрової парової машини (із загальним валом для всіх циліндрів – за типом колінчастого вала ДВЗ);
- двоступінчасте розширення пари з проміжним її підігріванням;
- застосування парової турбіни замість парової машини (паротурбовоз);
- спалювання вугільного пилу в «киплячому» шарі при температурі близько 850 °С за типом нових стаціонарних парогенераторів;
- двоступінчасте спалювання вугілля в топці парового котла (газифікація в шарі при нестачі повітря і подальше спалювання газової суміші).

Розглядаються можливості зменшення споживання води (за рахунок конденсації пари в тендері-конденсаторі за типом створеного в передвоєнні роки для паровозів СО).

Як видно з огляду, нині вже є значний науково-технічний заділ для можливості створення сучасних автономних локомотивів на твердому паливі. Проте реальні потреби у використанні цих розробок виникнуть, мабуть, не скоро.

Без зміни конструкції двигуна застосовується *газоконденсатне паливо*, яке є сумішшю легкокиплячих нафтових вуглеводнів, що знаходяться у природі в підземних пластах у газоподібному стані під тиском 4,9...9,8 МПа при температурі 150 °С. При охолодженні і зниженні тиску до атмосферного (в умовах земної поверхні) суміш розпадається на рідку (конденсат) і газову складові.

Усі газові конденсати складаються в основному з нафтових і парафінових вуглеводнів і майже не містять ароматичних вуглеводнів. Вони мають низьку детонаційну стійкість і в основному використовуються як дизельне паливо марок ГШЗ і ГШЛ (табл. 12.3).

Таблиця 12.3

Показники якості дизельних і газоконденсатних палив

Показник		Дизельне паливо, за ДСТУ 3868-99		Газовий конденсат	
		Л	З	ГШЛ	ГШЗ
Цетанове число, не менше		45	45	42	40
Фракційний склад, °С	t <sub>50%</sub> , не більше	280	280	260	260
	t <sub>96%</sub> , не більше	370	370	360	340
Кінематична в'язкість при 20°С, мм <sup>2</sup> /с		3,0...6,0	1,8...6,0	2,0	1,45
Температура помутніння, °С, не більше		-5	-15	-5	-25
Температура застигання, °С, не більше		-10	-25	-15	-35
Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не менше / не більше (для дизелів загального призначення)		40/-	35/-	-/15	-/12

ГШЗ – газоконденсатне широкофракційне паливо, яке одержують прямою перегонкою газового конденсату або шляхом змішування дизельних фракцій газового конденсату з дизельним паливом, використовують при температурі навколишнього середовища  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище.

ГШЛ отримують прямою перегонкою газового конденсату або шляхом змішування дизельних фракцій газового конденсату з товарними дизельними паливами, застосовують при температурах навколишнього середовища вище  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Газоконденсатні палива мають цетанове число менше, ніж у звичайного дизельного палива. Це призводить до великої затримки самозаймання та зменшення подачі палива і, як результат, до зниження потужності двигуна орієнтовно на 7%. Відповідне регулювання паливної апаратури дозволить уникнути цієї проблеми, а також витримати на належному рівні економічність та ефективність роботи дизеля й навіть поліпшити його динамічні показники.

Крім перерахованих альтернативних видів палива для ДВЗ, є багато перспективних видів – спирти (метанол, етанол), ефіри, біопаливо, водень, вода як домішка до палива, енергія розщеплення атома.

*Спирти.* Разом з газовими моторними паливами як альтернативне паливо найбільш широко використовуються спиртні палива, які являють собою низькомолекулярні спирти – *метанол, етанол*, або так звані оксигенатні палива, що містять у своєму складі разом з вуглеводневим паливом (бензином, дизельним паливом) різні кількості кисневмісних домішок (спиртів та ефірів).

З великої кількості аліфатичних спиртів як моторні палива знайшли застосування тільки метанол і етанол, які мають значні обсяги виробництва – десятки мільйонів тонн. У них є високі антидетонаційні властивості (ОЧ близько 100), знижений вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах, можливість виробництва з альтернативних джерел сировини.

*Метанол* – метиловий або деревний спирт, для виробництва якого сировиною служать природний газ, нафтові залишки, а останнім часом і вугілля, відходи лісового господарства, біомаса та міські відходи. Енергетичний коефіцієнт корисної дії

виробництва метанолу з вугілля становить приблизно 45...50 %, що дещо вище, ніж при виробництві дизельного палива і бензину (40 %). При виробництві метанолу з деревини цей коефіцієнт знаходиться в межах 42...50 %, а з природного газу – 60...70 %.

*Етанол – етиловий або винний спирт*, який виробляється зі злаків, картоплі, цукрової тростини та ін., застосовується як у суміші з бензином, так і в чистому вигляді.

Серед *основних недоліків спиртів як моторних палив* слід виділити такі, як знижена теплота згорання порівняно з вуглеводневими паливами; низька енергощільність, що збільшує у два рази питомі витрати; ускладнений пуск холодного двигуна; висока корозійна агресивність (особливо на гумотехнічні і пластикові деталі устаткування і двигунів); потрібна істотна модернізація системи подачі палива.

Високі антидетонаційні властивості спиртів визначають їх переважне використання у ДВЗ з примусовим (іскровим) запаленням. Застосування спиртів у дизельних двигунах ускладнене через низькі цетанові числа (3...8), високу температуру самозаймання (у 1,5...2 рази вище, ніж у дизельного палива) і низькі мастильні властивості, що призводить до підвищеного зносу паливних насосів.

Тому в наш час все більш широке застосування знаходять так звані *сумішеві палива*, наприклад використання суміші з 15 % метанолу та 85 % бензину (призначається як М15) дає позитивні результати.

На сьогодні застосування спиртів як рідких палив для ДВЗ обмежене через високу їхню вартість і невирішені питання з токсичністю (особливо метанолу), великі витрати харчових продуктів при виробництві етанолу (винного спирту).

*Ефіри належать до оксигенатних палив*, тобто продуктів, до складу яких входить кисень. І хоча до складу розглянутих вище спиртів також входить кисень, термін «оксигенатні» вперше був застосований саме до палив, які містять у своєму складі прості ефіри.

Широке використання як моторні палива отримали такі ефіри, як *метилтретбутиловий (МТБЕ)* – застосовується як домішка до бензинів, і *диметиловий ефір (ДМЕ)* – як домішка до дизельного палива або його повний замітник.

При додаванні МТБЕ у бензин підвищується октанове число, поліпшуються пускові якості, потужність і економічність двигуна; зменшується знос деталей та утворення на них нагару і лакових відкладень; стабілізуються властивості моторної оливи; знижується токсичність ВГ (приблизно на 10 %). У табл. 12.4 наведені характеристики для перспективних палив.

Таблиця 12.4

Порівняльна характеристика бензину та перспективних палив

Показник		Бензин	Метанол	Етанол	МТБЕ
Октанове число	за дослідницьким методом	80...98	114	111	117
	за моторним методом	76...88	95	94	100
Кінематична в'язкість при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с		0,65	0,55	1,76	0,75
Густина при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>		700	800	790	750
Температура, °С	кипіння	35...195	65	78	51...62
	кристалізації	-60	-98	-115	-105
	самозаймання	255...370	464	423	421
	займання	-27...-39	8	13	11
Тиск насичених парів при 20 °С, кПа		66,5...93	12,1	5,6	58,4
Границі займання об'ємні, %		0,8...5,2	5,5...36	4,3...19	-
Масова частка кисню, %		-	49,9	34,7	18,2
Теплота згорання, кДж/г·моль		254	238	278	-
Розчинність у воді, %		0,0008	Повна	Повна	14,3

Що стосується застосування диметилового ефіру (ДМЕ), то, на думку експертів, у наш час він є одним з найперспективніших палив для дизельних двигунів. Перспективність цього дизельного палива визначається двома основними обставинами:

- сировиною для виробництва ДМЕ є природний газ;
- високими експлуатаційними й екологічними властивостями.

Серед позитивних експлуатаційних якостей ДМЕ (табл. 12.5) необхідно відзначити таке:

- високе цетанове число (55...60 од.);

- відсутність сірки в ДМЕ вирішує проблему вмісту оксидів сірки у відпрацьованих газах;
- наявність у молекулі ДМЕ атому кисню забезпечує повноту згорання ДМЕ, що забезпечує практичну відсутність у камері згорання нагару і частинок сажі у відпрацьованих газах;
- зниження температури горіння палива в камері згорання і, як наслідок, зниження вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах;
- стійка робота двигуна на всіх режимах, включаючи режим пуску та холостого ходу без втрати потужності та економічності (в енергетичному еквіваленті).

Таблиця 12.5

Фізико-хімічні властивості ДМЕ палив для дизельних двигунів

Показник		Нафтове дизельне паливо	ДМЕ
Молярна маса		148,6	46,07
Вміст сірки, ppm*		нижче 500	нижче 5
Масова частка ароматичних вуглеводнів, %		25	відсутні
Масова частка кисню, %		сліди	34,7
Тиск насичених парів при 38 °С, кПа		0,69	800
Температура, °С	кипіння	180...370	-24,8
	самозаймання	220	235
Теплота згорання, МДж/кг		42,5	24,8
Цетанове число		40...55	55...60
Кінематична в'язкість при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с		2,0...3,5	0,25
Густина при 15 °С, кг/л		0,8...0,84	0,6612

Примітка. \*ppm (part per million) – частин на мільйон.

Найістотнішими недоліками ДМЕ як дизельного палива є в 1,5 разу менша теплота згорання, що призводить до збільшення витрат ДМЕ в 1,5...1,6 разу порівняно з дизельним паливом. Недоліками ДМЕ є також низька кінематична в'язкість (у 20...30 разів менша, ніж у дизельного палива) і дуже погані мастильні властивості. Певні труднощі при впровадженні ДМЕ пов'язані з його низькою температурою кипіння (мінус 24,8 °С),

що призводить до необхідності створення інфраструктури для зберігання ДМЕ на складах депо, заправлення, зберігання в баці теплового та ін. Вирішення зазначених проблем зробить ДМЕ досить перспективним для застосування як заміника дизельного палива.

*Біопаливами (біологічними паливами)* називають моторні палива, які одержують з відновлюваної, в основному рослинних джерел, сировини. Етиловий спирт (гідролізний і харчовий), отриманий з рослинної сировини, також часто називають біоетанолом. Окрім біоетанолу, з відновлюваних джерел сировини в промисловому масштабі виробляють біодизельне паливо і так зване паливо P-series.

Для вироблення біодизельного палива можуть використовуватися різні олійні культури (соя, соняшник, рапс і т. п.), а також відходи виробництва яловичого й інших тваринних жирів. Найчастіше для виробництва біодизельного палива застосовують рапсову олію, яка виробляється з насіння рапсу. Однак рапсові або соєві олії – це ще не біодизельне паливо. *Біодизельне паливо – це моноалкілові ефіри довголанцюгових жирних кислот, що одержують з рослинної олії або тваринного жиру. Будь-які жири є ефірами довголанцюгових жирних кислот і гліцерину, який за своєю хімічною природою є триатомним спиртом. Це означає, що гліцерин у жирах можна замінювати трьома молекулами метилового спирту (метанолу або етилового спирту). Саме цей ефір метанолу (або етанолу) і довголанцюгових жирних кислот є біодизельним паливом, а процес хімічного заміщення в жирах гліцерину спиртами називається переетерифікацією.*

Рослинні оливи (пальмова, соєва, соняшникова, рапсова та ін.) алкілюють та отримують моноефіри відповідних кислот. Поширеним паливом цього типу є, наприклад, рапсовий метиловий ефір (РМЕ), який використовується у Швеції, ФРН, Франції та інших країнах. Його додають до дизельного палива в концентрації до 30 % без додаткового регулювання двигуна. У західноєвропейських країнах прийнято рішення про обов'язкове додавання РМЕ в дизельне паливо.

Біодизельне паливо може застосовуватися на транспортних двигунах у чистому вигляді і як домішка до нафтового дизельного палива [6]. Основні фізико-хімічні й експлуатаційні

властивості біодизельного палива і його суміші з нафтовим дизельним паливом наведені в табл. 12.6.

Крім зниженої температури затвердіння (а це важливо для зимових погодних умов України), біодизельне паливо як моторне паливо має ряд цінних якостей. Його застосування істотно подовжує час життя двигуна, оскільки таке паливо має кращу мастильну здатність, ніж паливо з нафти. При цьому на 90 % знижується ризик ракових захворювань. За рахунок того, що біодизельне паливо містить 11 % кисню, кількість вуглекислого газу зменшується на 80 %, чадного газу – на 35 %, оксидів сірки – на 100 %, аерозолів – на 32 %, що має першорядне значення для поліпшення екологічної ситуації. Але треба враховувати, що біодизельне паливо виробляється з олійних культур, які є також цінними харчовими продуктами. Тому неможливо повністю перевести ДВЗ для роботи на біодизельне паливо.

Таблиця 12.6

Властивості біодизельного палива і його сумішей з нафтовим дизельним паливом

Показник	Нафтове дизельне паливо	Біодизельне паливо	Суміш нафтового та біодизельного палива, %			
			5	20	30	50
Густина при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	828	88А	833	840	848	858
Цетановий індекс	≈51	≈51	≈51	≈51	≈51	≈51
Найнижча теплота згорання, МДж/л	35,5	32,9	35,3	35,0	34,7	34,2
В'язкість при 40°С, мм <sup>2</sup> /с	2,2...2,9	4,5	2,4	2,6	2,7	3,1
Температура спалаху, °С	73	188	75	76	78	83

Палива P-series, розроблені у Принстонському університеті (США), є сумішшю етанолу, метилтетрагідрофурану (МТГФ), вуглеводнів C5+; до зимових сортів вводиться н-бутан.

Октанові числа палив P-series залежно від складу знаходяться в діапазоні 87...93 од. За екологічними властивостями вони набагато перевершують нафтові бензини за



вмістом [СН], СО і NO<sub>x</sub> у відпрацьованих газах, вони також менш шкідливі для людини.

Для отримання палив Р-series може використовуватися дешева відновлювана сировина – сільськогосподарські, деревні і паперові відходи. Один літр палива Р-series еквівалентний одному літру звичайного бензину.

З метою економії бензину та раціональнішого використання низькооктанових бензинів останнім часом активно ведуться роботи щодо використання *води як домішки до палива*.

Механізм дії води на робочий процес у ДВЗ вивчений не повністю, але вважається, що при додаванні води підвищується октанове число палива, зростає потужність і економічність роботи. Деякі фахівці вважають, що вода є не тільки катализатором, а й безпосередньо бере участь у процесі горіння суміші.

*Вода може подаватися* безпосереднім впорскуванням у циліндри або впускну систему двигуна, а також у вигляді *водобензинової емульсії (ВБЕ)*, приготовленої раніше. Використання ВБЕ пов'язане з вирішенням низки практичних завдань:

- створенням водобензинової емульсії;
- розробленням ефективних ПАР;
- створенням раціональної системи виготовлення і використання водобензинової емульсії в депо.

Практика показала, що через підвищену в'язкість ВБЕ до її складу поки що можна вводити не більше 10 % води.

*Незважаючи на перелічені недоліки*, практика показує, що при роботі двигуна на ВБЕ з вмістом 10...30 % води питомі витрати бензину знижуються на 12...22 % при повних навантаженнях і на 7...10 % – при середніх. Крім того, приблизно у 2...6 разів знижується вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигуна.

У дизелях можна також використовувати *обводнене дизельне паливо – водопаливну емульсію (ВПЕ)*, що характеризується вищою фізичною стабільністю, ніж ВБЕ, і для її приготування потрібно значно менше ПАР.

При використанні в дизелях ВПЕ питомі витрати палива можна знизити на 2...6 %. Димність відпрацьованих газів при

цьому зменшується завдяки впливу водяних парів на процес газифікації вуглецю (сажі).

У далекому майбутньому можливе застосування *енергії ділення ядер атомів*, наприклад урану, при якому виділяється тепла енергія для створення наземних транспортних засобів з ядерною силовою установкою (ЯСУ).

Фахівці вважають, що розвиток атомної енергетики - необхідний шлях виходу з енергетичної безвиході, пов'язаного з неминучим збільшенням дефіцитності природного органічного палива – нафти і газу. Інша точка зору, яка не має наукового обґрунтування, але поширена серед населення, наполягає на тому, що безпека АЕС не може бути гарантована.

Інтерес до локомотивів з ядерною силовою установкою (ЯСУ) виник ще в 60-х рр. ХХ ст., коли було розроблено, у тому числі і в СРСР, декілька різних проектів. Таких локомотивів і сьогодні у світі ще нема, але опрацювання проектів виконуються і у наш час і на найсучаснішому рівні.

Принцип дії локомотива з ЯСУ не відрізняється від принципу дії всіх автономних локомотивів. Ядерна силова установка – атомний реактор – є тепловим генератором, тобто джерелом теплової енергії, яка виділяється в процесі ланцюгової реакції ділення (розпаду) атомів ядерного палива. За допомогою теплоносія ця енергія передається в теплообмінник робочому тілу, яке в якомусь тепловому двигуні у свою чергу перетворить свою теплову енергію в механічну роботу, яку далі можна використати для створення сили тяги.

Проте виконані в США розрахунки показали, що локомотив такого типу не може мати очевидних техніко-економічних переваг порівняно зі звичайним тепловозом – скорочення витрат на паливо в експлуатації перекриватиметься в приведених витратах значно більшою вартістю самого локомотива і збільшенням витрат на його обслуговування.

*Водень.* Донедавна водень розглядався лише як потенційне ефективне паливо. Проте постійно з'являються повідомлення про розроблення експериментальних моделей автомобілів та інших транспортних засобів, що працюють на рідкому водні. Технологію використання водню як палива для автомобілів можна вважати повністю відпрацьованою.

Ще на початку 1980-х рр. у колишньому СРСР був випробуваний дослідний автомобіль (РАФ-2203), у кузові якого були встановлені баки з рідким воднем. Аналогічні випробування, включаючи створення дослідного зразка на автівці ГАЗ-24 «Волга», виконані в ІПМаш НАН України (м. Харків).

Інтерес до водню як моторного палива обумовлений такими *властивостями*:

- при згоранні водню у двигуні утворюється практично тільки вода, і в цьому відношенні двигун на водневому паливі є найбільш екологічно чистим;

- високі енергетичні властивості водню – 1 кг водню еквівалентний майже 4,5 кг бензину (теплотвірна здатність водню 120 МДж/кг, а бензину 44 МДж/кг), тобто в 2,7 разу нижче;

- практично необмежена сировинна база за умови отримання водню з води (за допомогою електролізу);

- при достатньому збідненні суміші можлива бездетонаційна робота водневого двигуна в широкому діапазоні ступенів стиснення;

- відсутність вуглецю у водневому паливі призводить до того, що у відпрацьованих газах практично відсутні оксиди вуглецю ( $\text{CO}$  і  $\text{CO}_2$ ) і незгорілі вуглеводні, а оксидів азоту дуже мало;

- суміш водень-повітря запалюється за наявності водню від 4 до 74 % і горить при температурі вище 500 °С з утворенням парів води.

*Основні недоліки водневого палива:*

- пожежо- і вибухонебезпека – суміш водню з повітрям утворює гримучий газ, тому потрібна повна герметичність, у тому числі і при заправці;

- навіть у рідкому стані він займає об'єм у 3,5 разу більший, ніж еквівалентна кількість бензину. Необхідна також надійна теплоізоляція баків, оскільки температура зрідженого азоту становить -253 °С й для його зберігання необхідна криогенна температура нижче -120 °С;

- викид оксидів азоту за рахунок більш високої температури горіння водно-повітряної суміші удвічі перевищує викид оксидів азоту бензинового двигуна, але при збідненні суміші кількість цих оксидів різко знижується, а при досягненні коефіцієнта надлишку повітря 1,8 вони зовсім відсутні;

- при роботі стандартного двигуна на водні його потужність знижується на 15...20 %.

Широкий діапазон займання водно-повітряної суміші (14...74 %) і вибухонебезпечності (18,3...74 %) створюють проблеми при використанні водню. Але висока температура займання (590 °C) і швидке розсіювання в атмосфері дозволяють прирівняти водень за ступенем пожежо- та вибухонебезпечності до природного газу.

Незважаючи на зазначені недоліки, водень є найбільш перспективним паливом взагалі і для двигуна внутрішнього згорання зокрема. На сьогодні водень використовується як домішка до рідких палив для збагачення їх висококалорійним компонентом. При цьому двигун не потребує жодних змін. Встановлено, що на режимі холостого ходу на 100 км пробігу автомобіля замість 12,2 кг бензину витрачається лише 5,5 кг бензину і 1,8 кг водню. Отже, 1,8 кг водню замінює 6,7 кг бензину, тобто 1,8 кг водню дає змогу зекономити 50...55 % бензину.

Слід ураховувати, що вартість водневого палива не вища, ніж інших видів синтетичного палива. При цьому концентрація оксиду вуглецю у відпрацьованих газах знижується в 13 разів, оксидів азоту – у п'ять разів, вуглеводнів – на 30 %, якщо вводити водень у горючу суміш на режимах холостого ходу, малих і середніх навантажень. Передчасне запалювання і жорсткість згорання водно-повітряних сумішей можна усунути упорскуванням водню безпосередньо в камеру згорання.

Висока температура самозаймання водно-повітряної суміші ускладнює використання водню як палива для дизельних двигунів. Стійке займання може бути забезпечене або примусовим підпалом від свічки, або організацією роботи двигуна в газодизельному режимі, коли запалювання виникає за рахунок невеликої кількості дизельного палива, що подається в циліндр разом із воднем.

Технічні труднощі при використанні і висока вартість водню призвели до того, що надається увага розробленню комбінованого палива бензин-водень.

Перспективним способом зберігання водню на борту транспортного засобу є металогідридні акумулятори. Виділення водню з балонів, заповнених гідридом, забезпечується їх

підігріванням рідиною з системи охолодження двигуна або вихлопними газами. Гідридні акумулятори можна заряджати та розряджати декілька тисяч циклів без втрати енергоємності. У разі аварії та руйнування зовнішньої оболонки ємності для зберігання частина водню швидко випаровується, викликаючи тим самим охолодження акумулятора і зупинку виділення водню. Гідридний акумулятор водню набагато безпечніший за бак із бензином.

З огляду перспектив застосування водневої енергетики в майбутньому найважливішими є економічні фактори. У цьому відношенні водень як енергоносіє не має конкурентів. Сировинні ресурси для одержання водню необмежені: його можна одержати з біомаси у результаті газування вугілля, часткового окиснення вуглеводневого палива, застосовуючи сонячне випромінювання, а також у результаті електролізу води. Але для здобуття водню потрібна велика кількість енергії. Собівартість цих методів у перерахунку на енергетичну одиницю у 2...10 разів вища, ніж одержання природного горючого газу.

У недалекій перспективі водневе паливо знайде широке застосування на рухомому складі. Програми переходу до так званої безвуглецевої енергетиці, прийняті в технологічно розвинених країнах для виконання вимог Паризької угоди з клімату, віддають безумовний пріоритет поновлюваним енергоносіям, у тому числі водню. До цього часу сформована специфічна підгалузь, яка називається водневою енергетикою, що охоплює аспекти видобутку, транспортування, зберігання і застосування водню для стаціонарних і транспортних установок.

«Воднева стратегія для кліматично-нейтральної Європи» передбачає, що до 2050 р. дизелі на залізницях мають бути замінені більш перспективними енергетичними установками (ЕУ), що працюють на водні, – електрохімічними генераторами струму (ЕХГ).

Основним компонентом ЕХГ є паливний елемент (ПЕ). Він являє собою електрохімічний пристрій, у якому відбувається безпосереднє перетворення хімічної енергії палива в електричну. У зв'язку з тим, що процес у ПЕ не містить етапу перетворення хімічної енергії палива в теплоту, їм не притаманні термодинамічні обмеження ККД, властиві тепловим двигунам.

Стаціонарний характер реакцій і відносно невисока температура їх протікання дозволяють практично виключити виникнення ПЕ токсичних речовин.

Сутність реакцій, що протікають у ПЕ, полягає в обміні електронами між реагентами. Для організації керованого руху електронів у ПЕ реакції розділені, кожна з них протікає на окремому електроді.

Міжелектродний обмін електронами здійснюється по зовнішньому ланцюгу, по якому тече електричний струм. Рух електронів по зовнішньому ланцюгу компенсується переміщенням іонів в електроліті, у якому розташовані електроди.

До найбільш поширених типів ПЕ належать низькотемпературні ПЕ з твердополімерною іонообмінною мембраною (ТППЕ) (рис. 12.2).

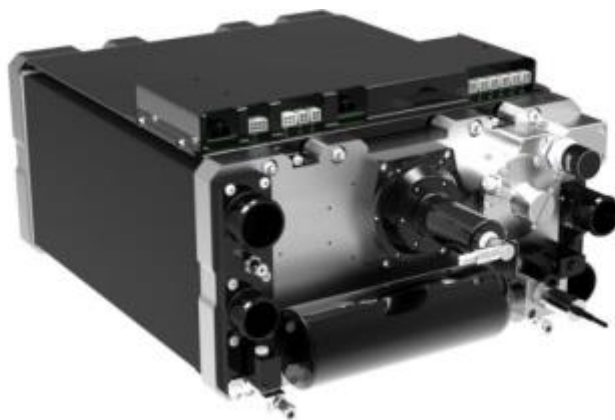
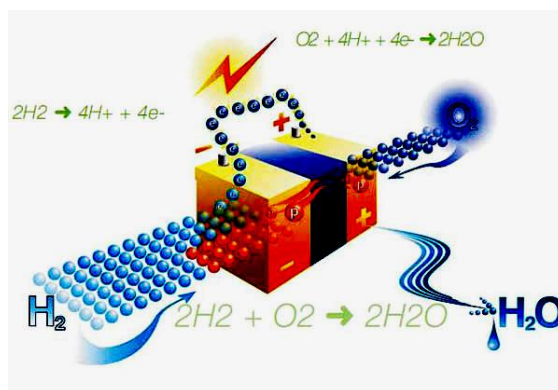
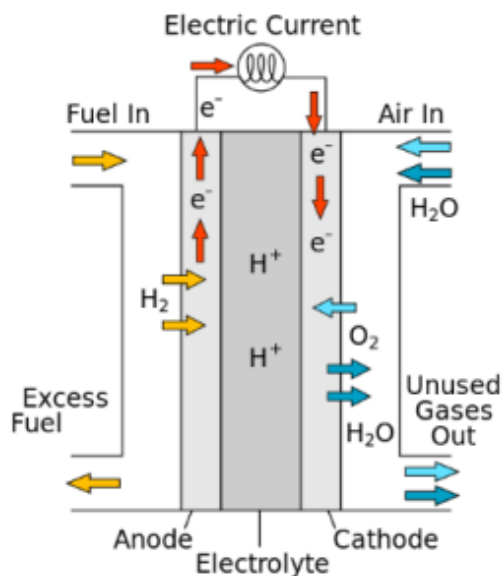


Рис. 12.2. ПЕ з твердополімерною іонообмінною мембраною і електрохімічний генератор

У наш час технології ТПТЕ є такими, що найбільш інтенсивно розвиваються, вони орієнтовані переважно на застосування в силових установках транспортних засобів.

Це обумовлено такими перевагами ТПТЕ, як компактність, хороша прийманість, зручність, більша безпека у виготовленні та експлуатації завдяки відсутності вільного електроліту. На базі ТПТЕ створюються ЕУ автомобілів, суден, залізничного рухомого складу і літальних апаратів.

Подальше вдосконалення ТПТЕ пов'язано з вирішенням таких проблем, як підвищення терміну служби іонообмінних мембран, підвищення їхньої термостійкості, зниження електричного опору і витрат благородних металів при виготовленні електродів.

Застосування рухомого складу, що працює на водні, є вигідною альтернативою електрифікації для ділянок з невеликою інтенсивністю руху. Передбачається, що до 2030 р. частка поїздів з ЕХГ, що працюють на водні, складе залежно від сценарію попиту 25...41 % загального обсягу поставок тягового рухомого складу. Основна частина попиту буде припадати на моторвагонний рухомий склад (МВРС) для перевезення пасажирів на місцевих і регіональних лініях, наприклад регіональний водневий поїзд Alstom Coradia iLint, експлуатація якого передбачена в Німеччині, Австрії, Данії. Подальший розвиток технології передбачає можливість застосування водневих паливних елементів для вантажного сполучення.

Поїзд Coradia iLint створено на базі дизель-поїзда Coradia Lint54 шляхом заміни силової установки з дизелем потужністю 390 кВт з гідромеханічною передачею на водневу ЕУ ЕХГ виробництва фірми Hydrogenics. Компонування обладнання поїзда показано на рис. 12.3.

На кожній секції встановлюється один ЕХГ на ТПТЕ потужністю 198 кВт з максимальним ККД 55 %, що живиться воднем з чистотою не нижче 99,98 %. Паралельно ЕХГ підключена акумуляторна батарея ємністю 111 кВт•год і з тривалою потужністю 221 кВт. Спільна робота ЕХГ і буферної акумуляторної батареї дозволяє в режимі розгону реалізувати потужність, що більш ніж удвічі перевищує потужність ЕХГ, забезпечити рекуперацію енергії гальмування і мінімізувати різкі коливання потужності ПЕ, що призводять до зниження їхнього ресурсу.

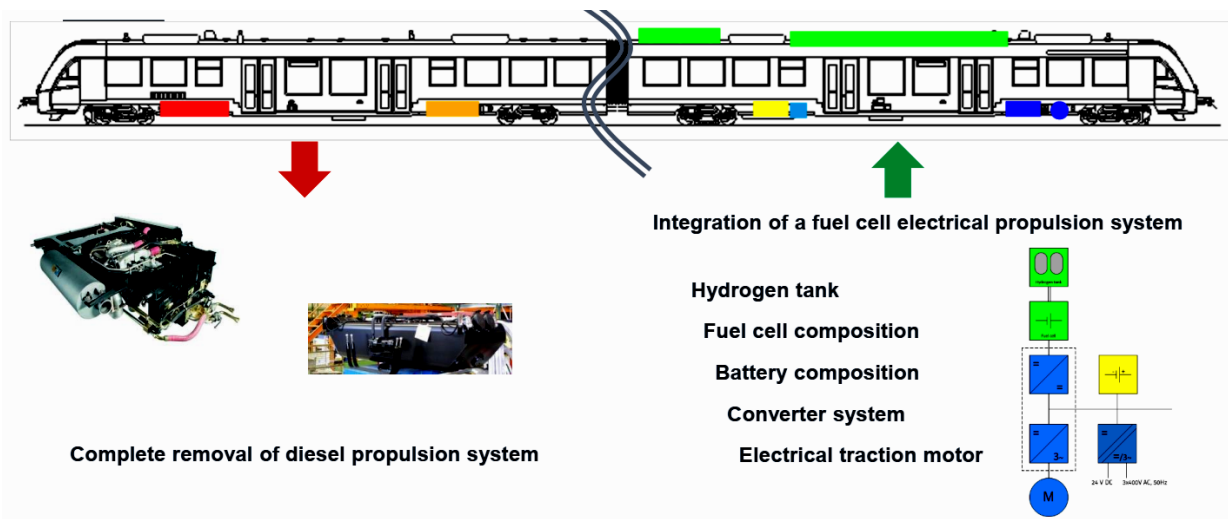


Рис. 12.3. Компонування обладнання поїзда Coradia iLint

Запас водню масою 178 кг в секції зберігається в композитних балонах під тиском 35 МПа, забезпечуючи запас ходу в межах 600...800 км з максимальною швидкістю 140 км/год. Заправка воднем виконується на мобільній водневій заправній станції.

Паливні балони, їх обв'язка і ЕХГ розміщуються на даху для забезпечення безперешкодного розсіювання можливих витоків водню в атмосфері і запобігання утворенню вибухонебезпечної воднеповітряної суміші поблизу місць розташування пасажирів і джерел займання (рис. 12.4).

Переваги ЕУ на водневих паливних елементах:

- питома енергоємність систем на основі ПЕ перевищує енергоємність будь-яких акумуляторних батарей. Дана перевага дозволяє скоротити вагу підсистеми енергозабезпечення у 1,5-5 разів;

- можливість тривалого зберігання. Високотемпературні твердо-оксидні паливні елементи і системи електроживлення на їхній основі мають термін зберігання не менше 15 років;

- простота конструкції, відсутність рухомих вузлів і систем змащення. Можливість експлуатації в режимі без обслуговування;

- високий уніфікаційний потенціал: ємність і потужність систем розділені, що дозволяє гнучке масштабування того чи іншого параметра окремо залежно від цільового призначення системи і тим самим забезпечити формування широкого ряду



електрохімічних генераторів як за потужністю, так і енергоємністю;

- енергоємність не залежить від температури навколишнього середовища;

- низьке теплове забруднення і низький рівень шуму порівняно з двигуном внутрішнього згорання;

- відсутність саморозряду та «ефекту пам'яті»;

- відсутність необхідності в превентивній заміні;

- високий ККД (до 80 % і більше);

- екологічність.

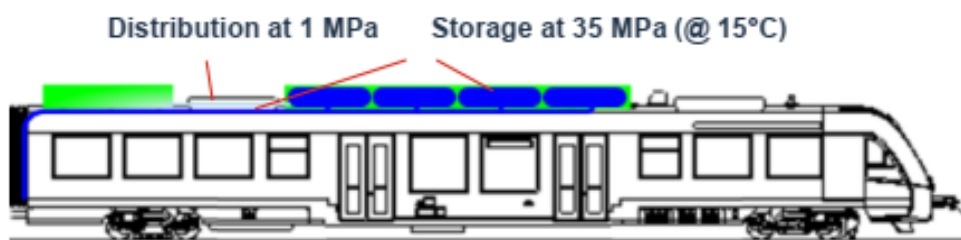
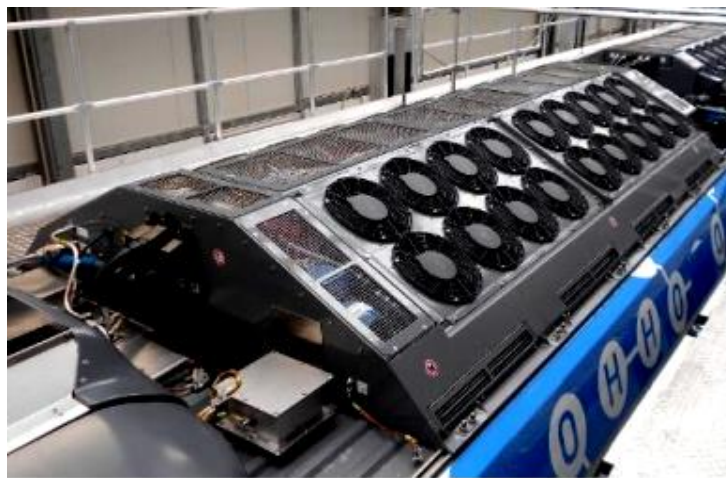


Рис. 12.4. Розміщення ЕХГ

### 13. Правила поводження з паливом

Пари дизельного палива шкідливі для здоров'я людини; вони також вогне- та вибухонебезпечні [20, 21, 25]. Токсичність пари дизельного палива зазвичай вище, ніж бензину, але через меншу випаровуваність концентрація цієї пари в повітрі буває значно менше. Гранично допустима концентрація пари дизельного палива  $0,3 \text{ м}^2/\text{дм}^3$  повітря. Працівники, які контактують з дизельним паливом, повинні знати, що дизельне паливо має отруйні властивості. Вдихання парів дизельного палива, потрапляння їх усередину організму можуть викликати важке отруєння.

Ступінь впливу палива на навколишнє середовище визначається трьома факторами: хімічним складом, робочою температурою і культурою поводження з ними. Хімічний склад є домінуючим фактором. Він характеризує потенційну здатність палива впливати на зовнішнє середовище. Відомо, що основна причина забруднення повітря полягає в неповному і неефективному згоранні палива. У відпрацьованих газах двигуна внутрішнього згорання міститься понад 170 шкідливих компонентів, з них понад 160 – похідні вуглеводнів, які є результатом неповного згорання палива у двигуні. Наявність у відпрацьованих газах шкідливих речовин обумовлена видом і умовами згорання палива. Найбільш шкідливими є оксид вуглецю, вуглеводні і діоксид азоту. Склад відпрацьованих газів залежить від виду палива, що застосовується, присадок і режимів роботи двигуна, його технічного стану та ін.

Недбале поводження з дизельним паливом може призвести до захворювання шкірного покриву (дерматити, екзема). Для захисту шкіри від шкідливої дії дизельного палива і олів рекомендується перед роботою і після неї змащувати руки мазями (ланоліном, вазеліном, пастою «біологічні рукавички» тощо).

При отруєнні парами бензину, дизельного палива необхідно негайно вивести чи винести потерпілого на чисте повітря, викликати лікаря і надати першу допомогу: у стані збудження забезпечити спокій, дати заспокійливі краплі (валеріанові), при ослабленні дихання чи непритомності дати понюхати нашатирний спирт. Після відновлення дихання бажано хворого напоїти міцним чаєм чи кавою. Якщо нафтопродуктами

подразнені слизові оболонки очей, їх промивають 2 % розчином соди, холодним чаєм, чистою водою.

Нафтопродукти і зріджені або природні гази при їх транспортуванні, зберіганні і видачі можуть змінювати свої фізико-хімічні і термодинамічні властивості, що характеризуються густиною, токсичністю, в'язкістю, тиском насиченості газів, схильністю нафтопродуктів при русі по комунікаціях накопичувати заряди статичної електрики. Крім того, нафтопродукти і зріджені чи природні гази схильні до самозапалювання, пожежо- і вибухонебезпечні в певних концентраціях з повітрям.

Слід пам'ятати, що займання дизельного палива при зберіганні і застосуванні може відбутися не тільки від відкритого вогню, але також і при нагріванні до певних температур. При терті дизельного палива об метал, гуму і тканину можуть виникнути заряди статичної електрики. Електризація палива може відбуватися при ударі струменя палива по твердій поверхні при наливанні в резервуар, коли струмінь падає з великої висоти і розбивається на дрібні краплі, а також під час проходження палива по трубопроводах, рукавах та ін.

Якщо бак або резервуар не заземлено, може зібратися статична електрика, здатна при замиканні дати іскру, достатню для займання парів дизельного палива. Тому при зливанні, зберіганні і застосуванні палива й оливи обслуговуючий персонал локомотивних депо і складів палива має завжди дотримуватися правил особистої та протипожежної безпеки.

Суть гасіння палаючих нафтопродуктів полягає в ізолюванні полум'я палаючого нафтопродукту від кисню, що знаходиться в повітрі. Гасіння здійснюють за допомогою таких засобів: інертних газів, водяної пари, хімічної піни, повітряно-механічної піни, порошкоподібних речовин, піску тощо. Хімічна піна являє собою бульбашки вуглекислого газу, покриті найтоншою водяною плівкою. Повітряно-механічну піну одержують, змішуючи в спеціальних піногенераторах 0,4...0,2 % пінопорошку, 9,6...9,8 % води і 90 % повітря. Пінопорошок містить 50 % сірчанокиислого глинозему, 45 % двовуглекислої соди і 5 % лакричного екстракту.

Нафтопродукти, які зайнялися, не можна заливати водою, тому що продукт розтікається по поверхні води і полум'я підси-

люється. Для ліквідації вогню потрібно якнайшвидше припинити доступ повітря до палаючого предмета: закрити брезентом, ковдрою, засипати піском, використати вогнегасники. Джерело займання огорожують бар'єром з піску, а потім гасять вогонь.

Якщо зайнявся нафтопродукт у ємності, потрібно припинити його видавання, закрити кришку люка і зверху накрити наявними протипожежними матеріалами, а потім вогнегасниками збивати полум'я з поверхні резервуара.

При роботі з паливно-мастильними матеріалами (ПММ) випадки пожеж найчастіше трапляються від дій на експлуатаційні матеріали відкритого полум'я, розрядів статичної електрики, іскри при ударі чи терті, а також при потраплянні паливних рідин на нагріту поверхню. При експлуатації енергетичних установок найбільш частими причинами виникнення пожеж є несправність електроустаткування, негерметичність системи живлення, накопичення на двигуні бруду та оливи, застосування легкозаймистих і паливних рідин для миття двигуна, паління в безпосередній близькості від системи живлення, застосування відкритого вогню для підігрівання двигуна, а також при визначенні та усуненні несправностей механізмів.

Локомотивні і ремонтні бригади повинні постійно стежити за герметичністю паливної та оливної систем. Паливо, масло та інші забруднення, що з'явилися у відсіках дизеля тепловоза, слід видаляти за допомогою шприців або інших пристосувань.

Для усунення пожеж і вибухів на нафтоскладах і тепловозах необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки:

а) паливозаправні пристосування і ті місця, де може накопичуватись статична електрика, необхідно заземлювати;

б) забороняється застосовувати відкритий вогонь, палити на заправних пунктах, у дизельному приміщенні, а також запалювати сірники, факел, користуватися гасовим ліхтарем біля паливних баків, у дизельному приміщенні і нафтосховищах;

в) обтиральні матеріали, просочені паливом, слід зберігати в спеціальних залізних ящиках;

г) забороняється відгвинчувати пробки паливних баків ударами молотка, зубила, оскільки це може викликати утворення іскор. За необхідності для цього можна користуватися мідними або обмідненими ключами.

## Питання для модульного контролю

1. Яке призначення нафти і нафтопродуктів?
2. Поясніть хімічний склад нафти.
3. Як впливають на властивості палив і олив густина, в'язкість і температура згорання?
4. Як впливають на властивості палив і олив н-парафінові, ізопарафінові, нафтенові, ароматичні та ненасичені вуглеводневі сполуки?
5. Що таке динамічна, кінематична й умовна в'язкість?
6. Що таке температури спалаху, займання, застигання?
7. Який вплив мають сірчисті сполуки на якість нафтопродуктів?
8. Назвіть основні засоби перегонки нафти.
9. Що таке пряма перегонка нафти?
10. Що таке термічний і каталітичний крекінг?
11. Що таке гідрокрекінг, каталітичний риформінг?
12. Фракційний склад, групи і типи нафти.
13. При яких температурах википання отримують бензин, гас, дизельне паливо?
14. Як з мазуту отримують моторні оливи?
15. Що таке дистилятні остаточні оливи?
16. Для чого потрібне очищення нафтопродуктів?
17. Способи очищення нафтопродуктів.
18. Що таке трибологія, триботехніка, хімотологія?
19. Назвіть класифікацію, склад і властивості палив.
20. Дайте характеристику температури самозаймання, горіння палива.
21. Що таке теплота згорання палива та її різновиди?
22. Що таке умовне та натурне паливо?
23. Що таке бензин та які вимоги висувають до нього?
24. Що таке випаровуваність бензинів?
25. Як впливає фракційний склад бензину на запуск і роботу двигуна?
26. Назвіть основні властивості бензинів?
27. Що таке детонація?
28. Що таке детонаційна стійкість?
29. Що таке октанове число?

30. Методи визначення октанового числа.
31. Що таке кислотність бензину?
32. Як впливають мінеральні й органічні кислоти на якість бензинів?
33. Вплив сірчистих сполучень у паливі на відкладення та нагароутворення.
34. Назвіть марки бензинів.
35. Назвіть марки зарубіжних бензинів.
36. Які переваги та недоліки дизельних двигунів порівняно з бензиновими?
37. Які вимоги висуваються до дизельного палива?
38. Що таке цетанове число дизельного палива, його значення та вплив на роботу двигуна?
39. Що таке жорсткість роботи дизельного двигуна?
40. Засоби визначення цетанового числа та його підвищення.
41. Від яких показників властивостей дизельного палива і як саме залежить прокачування палива?
42. Дайте перелік властивостей дизельного палива та їхню характеристику.
43. Якими показниками характеризуються низькотемпературні властивості дизельного палива та як його поліпшити в умовах експлуатації?
44. Як впливає фракційний склад дизельного палива на роботу і зношування деталей двигуна, витрати палива й оливи, а також на відпрацьовані гази?
45. Вплив сірки та сірчаних сполучень на роботу двигуна, нагаровідкладення та зношування деталей циліндропоршневої групи.
46. Назвіть асортимент і маркування дизельного палива.
47. Назвіть асортимент і маркування зарубіжного дизельного палива.
48. Розшифруйте позначення дизельного палива ДП-Л-Євро5-В5.
49. Розшифруйте позначення дизельного палива ДП-З-Євро4-В0.
50. Від чого залежать смоловідкладення та нагароутворення у двигуні й які методи їх зниження?

51. Назвіть марки палива важкого фракційного складу та завод-виробник.
52. Склад нагару. Якими властивостями палива його оцінюють?
53. Назвіть фази створення нагароутворення.
54. Призначення та види присадок до моторних палив.
55. Що називається альтернативним паливом? Які основні види альтернативних палив?
56. У чому полягають особливості використання газоподібного палива?
57. Як класифікується газоподібне паливо?
58. Назвіть переваги та недоліки газоподібного палива.
59. Які основні компоненти стисненого природного газу?
60. Які переваги та недоліки стиснених природних газів як палива для ДВЗ?
61. Які основні компоненти зріджених газів?
62. Які існують марки палив із зріджених газів?
63. Як зберігається зріджений газ на борту транспортного засобу?
64. Які переваги та недоліки застосування зрідженого газу як палива для ДВЗ?
65. Які основні напрями переведення тепловозних ДВЗ на стиснений і зріджений природний газ?
66. Наведіть приклади застосування газоподібного палива на залізничному транспорті.
67. Що таке газовий конденсат і де він застосовується?
68. Які марки газоконденсатного палива випускаються промисловістю?
69. Які особливості застосування газового конденсату як палива для ДВЗ?
70. Які види палива належать до перспективних?
71. Які переваги та недоліки спиртів як палива для ДВЗ?
72. З якої сировини отримують промисловим способом метанол і етанол?
73. Яке октанове число мають метанол та етанол?
74. Як впливає додавання спиртів у дизельне паливо на його властивості?
75. Що являє собою метилтретбутиловий ефір?

76. Які позитивні результати додавання МТБЕ до бензинів?
77. Які позитивні якості диметилового ефіру як альтернативного дизельного палива?
78. У чому полягають недоліки диметилового ефіру, які обмежують його використання?
79. Що служить речовиною для одержання біодизельного палива?
80. Які позитивні результати застосування біодизельного палива?
81. Які перспективи біодизельного палива в Україні?
82. Що таке паливо P-series?
83. Застосування водню як моторного палива, його переваги та недоліки?
84. Назвіть сировинні ресурси для одержання водню.
85. Який сучасний промисловий спосіб одержання водню?
86. Як зберігають водень на транспортних засобах?
87. Які переваги зберігання водню в складі металогідридів?
88. На яких режимах роботи двигуна доцільно застосовувати водень?
89. Як впливає застосування водню на зменшення шкідливості відпрацьованих газів?
90. Які перспективи використання водню як палива?
91. Застосування води як домішки до палива. Що таке ВБЕ та ВПЕ?
92. Назвіть засоби отримання синтетичного рідкого палива для ДВЗ з кам'яного вугілля, торфу, сланців і битумінозних пісків.
93. Перспективи застосування газогенераторних, газотурбінних, паросилових установок на локомотивах.
94. Назвіть основні правила поводження з паливом і вплив на працівників локомотивних депо.
95. У чому зберігають палива на складах локомотивного господарства?



## Бібліографічний список

1. EMD 645E turbocharged engine. Fuels: руководство по техническому обслуживанию двигателя / Electro-Motive Division Of General Motors. La Grange : General Motors, 2000. 6 с.
2. Fuels, Lubricants and Coolants for MAN Industrial and Marine Diesel Engines: вантажні автомобілі, вбудовані агрегати і залізничний транспорт / 51.99589–8001. Мюнхен: MAN Nutzfahrzeuge Gruppe, 2005. 119 с.
3. Автомобільні двигуни: підручник / Ф. І. Абрамчук, Ю. Ф. Гутаревич, К. Є. Долганов, І. І. Тимченко. Київ: Арістей, 2006. 486 с.
4. Бойченко С. В. Хімотологія: навч. посіб. Київ: Книжкове видавництво НАУ, 2006. 160 с.
5. Бойченко С. В., Спіркін В. Г. Вступ до хімотології палив та олив: навч. посіб. / упор. І. Г. Фукс. Одеса: «Астропринт», 2009. Ч. 1. 236 с.
6. Васильєв І. П. Вплив палив рослинного походження на екологічні та економічні показники дизеля: монографія. Луганськ: ВНУ ім. В. Даля, 2009. 240 с.
7. Данилов А. М. Применение присадок в топливах. Москва: Мир, 2005. 288 с.
8. Дацюк Л. М. Паливно-мастильні матеріали: конспект лекцій. Луцьк: Луцький НТУ, 2014. 48 с.
9. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні євро. Технічні умови: чинний з 2016-01-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 15 с.
10. ДСТУ 7688:2015. Паливо дизельне євро. Технічні умови: чинний з 2016-01-01. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 16 с.
11. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія: підручник. Харків: НТУ «ХПІ», 2008. 488 с.
12. Жалкін Д. С., Жалкін С. Г. Сучасні методи переробки нафти. Хімотологія бензинів: конспект лекцій. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 31 с.
13. Жалкін Д. С., Жалкін С. Г. Хімотологія дизельних палив. Альтернативні види палива: конспект лекцій. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 42 с.
14. Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів: ЦТ-0059.

Затв. Міністерством трансп. та зв'язку України 28.03.2003. Київ: Укрзалізниця, 2003. 85 с.

15. Колосюк Д. С., Зеркалов Д. В. Експлуатаційні матеріали: підручник. Вид. 2-ге, доп. Київ: Арістей. 2005. 241 с.

16. Локомотивні двигуни серії 3500В: керівництво по експлуатації та технічному обслуговуванню / SRBU717904. Женева: Caterpillar, 2004. 147 с.

17. Лютко В. Застосування альтернативних палив у дизельних двигунах: навч. посіб. Івано-Франківськ: ІМЕ, 2000. 238 с.

18. Паливо, масла, консистентні мастила, охолоджуючі рідини CAT®: рекомендації щодо застосування / SEBU625015. Мюнхен: Caterpillar, 2016. 12 с.

19. Полянський С. К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин: підручник. Київ: Либідь, 2005. 504 с.

20. Правила безпеки праці під час роботи з пально-мастильними матеріалами та спецрідинами: НПАОП 63.23-1.03-08. Затв. держ. ком. України з пром. безп. охор. праці та гірн. нагляду 19.09.2008. Київ: Укрзалізниця, 2009. 22 с.

21. Правила пожежної безпеки на залізничному транспорті: НАПБ В.01.010-2009/510. Затв. Міністерством трансп. та зв'язку України 21.12.2009. Київ: Укрзалізниця, 2010. 78 с.

22. Тепловоз ТЕ10М: керівництво по експлуатації та обслуговуванню. Ворошиловград: ВТЗ, 1985. 421 с.

23. Технічні умови на експлуатаційні матеріали: ТУ на експлуатаційні матеріали фірми MTU / A001062/02R. Німеччина: MTU, 2015. 38 с.

24. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Мажейка О. Й. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Кн. 1. Паливо-мастильні матеріали і технічні рідини. Кіровоград: Центрально-Українське вид-во, 2008. 353 с.

25. Чабанний В. Я., Магопець С. О., Мажейка О. Й. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Кн. 2. Системи забезпечення якості паливо-мастильних матеріалів. Кіровоград: Центрально-Українське вид-во, 2008. 500 с.

## Навчальний посібник

**Жалкін Денис Сергійович**  
**Жалкін Сергій Григорович**  
**Пузир Володимир Григорович**  
та ін.

# ЛОКОМОТИВНІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

Частина 1

ПАЛИВО

Відповідальний за випуск Анацький О. О.

Редактори Ібрагімова Н. В., Третьякова К. А.

---

Підписано до друку 17.12.20 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 5,0. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.