

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Д. С. Жалкін, С. Г. Жалкін

**СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ.
ХІМОТОЛОГІЯ БЕНЗИНІВ**

Конспект лекцій

Харків – 2016

Жалкін Д.С., Жалкін С.Г. Сучасні методи переробки нафти. Хімотологія бензинів: Конспект лекцій. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 41 с.

У даному конспекті наводяться в стислому вигляді матеріали, що стосуються загальних відомостей про нафту й нафтопродукти. Описані методи переробки нафти й вироблення палив та олив, засоби очистки продуктів переробки. Наведені загальні відомості про паливо, його класифікацію, склад та властивості. Надано поняття триботехніки, трибології та хімотології. У розділі хімотології бензинів подана інформація про основні фізико-хімічні властивості бензинів, у тому числі поняття теплоти згоряння та її різновидів, умовне та натурне паливо. Окремо розглянуто явище детонації двигуна, детонаційна стійкість та октанове число й методи його оцінювання. Наведені у стислій формі вплив мінеральних та органічних кислот, сірчаних сполучень на надійність роботи двигунів, смоло- та нагаровідкладення, корозійну активність. Викладені основні принципи класифікації та маркування бензинів що виробляються в Україні, показана взаємозамінність вітчизняних та зарубіжних бензинів.

Рекомендується для студентів, що навчаються за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» всіх форм навчання та вивчають курс «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства»

Іл. 9, табл. 5, бібліогр.: 14 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 14 березня 2016 р., протокол № 26.

Рецензент:

проф. О.С. Крашенінін

Д.С. Жалкін, С.Г. Жалкін

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ.
ХІМОТОЛОГІЯ БЕНЗИНІВ

Конспект лекцій

Відповідальний за випуск Жалкін Д.С.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 20.04.16 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,00. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Д.С. Жалкін, С.Г. Жалкін

**СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ.
ХІМОТОЛОГІЯ БЕНЗИНІВ**

Конспект лекцій

з дисципліни

**«ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ПРОЕКТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТА ЕКОЛОГІЯ
ЛОКОМОТИВНОГО ГОСПОДАРСТВА»**

Харків 2016

Д.С. Жалкін, С.Г. Жалкін. Сучасні методи переробки нафти. Хімотологія бензинів: Конспект лекцій. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – 41 с.

У даному конспекті наводяться в стислому вигляді матеріали, що стосуються загальних відомостей про нафту й нафтопродукти. Описані методи переробки нафти й вироблення палив та олив, засоби очистки продуктів переробки. Наведені загальні відомості про паливо, його класифікацію, склад та властивості. Надано поняття триботехніки, трибології та хімотології. У розділі хімотології бензинів подана інформація про основні фізико-хімічні властивості бензинів, у тому числі поняття теплоти згорання та її різновидів, умовне та натурне паливо. Окремо розглянуто явище детонації двигуна, детонаційна стійкість та октанове число й методи його оцінювання. Наведені у стислій формі вплив мінеральних та органічних кислот, сірчаних сполучень на надійність роботи двигунів, смоло- та нагаровідкладення, корозійну активність. Викладені основні принципи класифікації та маркування бензинів що виробляються в Україні, показана взаємозамінність вітчизняних та зарубіжних бензинів.

Рекомендується для студентів, що навчаються за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» всіх форм навчання та вивчають курс «Експлуатаційні матеріали, основи технології проектування підприємств та екологія локомотивного господарства»

Іл. 9, табл. 5, бібліогр.: 14 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу 14 березня 2016 р., протокол № 26.

Рецензент

проф. О.С. Крашенінін

ЗМІСТ

1	Загальні відомості про нафту і нафтопродукти.....	4
2	Сучасні методи переробки нафти й вироблення палив та олив.....	1 2
3	Трибологія, триботехніка, хімотологія.....	20
4	Паливо. Класифікація, склад та властивості палив.....	23
5	Хімотологія бензинів. Основні характеристики й властивості бензинів.....	2 8
6	Асортимент зарубіжних автомобільних бензинів.....	36
	Питання для модульного контролю.....	38
	Список літератури.....	40

1 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 у такому вигляді, в якому знаходила її в природі, застосовуючи її для освітлення, розпалювання вогнищ і з лікувальною метою. Тільки на початку ХХ століття, коли нафта і нафтопродукти стали використовувати як паливо для парових котлів і двигунів внутрішнього згорання, її значення стало різко зростати. Понад 2 тис. років тому нафту почали використовувати в будівництві, військовій справі, в 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 в 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 в прибережно-морських зонах, до яких додавалися аналогічні речовини з суші, перенесені водними потоками.

Впродовж 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. У міру зменшення

цього тиску фонтанування нафти спочатку слабшає, а потім абсолютно припиняється. В цьому випадку вдаються до компресорного або насосного способу добування.

При компресорному способі підйом нафти з пласта робиться шляхом нагнітання у свердловину стислого 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. Для цієї мети 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 столітті освоєно видобуток газу і нафти із сланцевих порід (США щорічно викачують до 680 млрд м³ 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).

Нафтодобувна промисловість України налічує більш як 230-річну історію і є однією з найстаріших не тільки в Європі, а й в усьому світі. Добування 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: Східний (Дніпровсько-Донецький), Західний (Карпатський) і Південний (Причорноморсько-Кримський), в 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 %) в 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 в 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 з'єднання термічно стабільні і не чинять 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 щільність, в'язкість, температура спалаху, займання, самозаймання і застигання, теплота згоряння, а також фракційний склад. Ці властивості залежно від хімічного складу нафти міняються в дуже широких межах.

Щільністю нафти прийнято умовно називати відношення маси певного об'єму нафти, взятого при температурі 20 °С, до маси такого ж об'єму води, що має температуру 4 °С. Щільність нафти коливається в межах 0,75-1,00. Буває густа нафта з

щільністю дещо більшою одиниці і легка нафта з щільністю менше 0,75. У нафті, щільність якої нижче 0,87, багато бензину і гасу. Важка нафта з щільністю 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) - ця властивість рідини чинити опір дії зовнішніх сил, що переміщують один її шар по відношенню до іншого. В'язкість – це прояви внутрішньомолекулярного тертя, тобто той опір, який чинять частинки рідини їх 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 – це 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 м^2 , розташовані на відстані 1 м один від одного за нормаллю, переміщуються зі швидкістю 1 м/с під дією зовнішньої сили 1 Н: $1 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = 1 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Динамічну в'язкість вимірюють капілярним або ротаційним віскозиметром.

Кінематична в'язкість – це питомий коефіцієнт внутрішнього тертя й дорівнює відношенню динамічної в'язкості до густини. Одиниця кінематичної в'язкості – квадратний метр на секунду ($\text{м}^2/\text{с}$), оскільки стара одиниця кінематичної в'язкості сантистокс (сСт), а $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$. Простих експериментальних методів визначення динамічної та кінематичної в'язкості немає. Ці величини оцінюють через умовну в'язкість, яку потім переводять в абсолютні значення.

Умовна в'язкість (ВУ) – безрозмірна величина, яка показує, в скільки разів в'язкість нафтопродукту за температури вимірювання більша чи менша від в'язкості води за температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Умовну в'язкість виражають в умовних градусах ($^\circ\text{ВУ}$), які відповідають градусам Енглера. Для визначення кінематичної в'язкості за умовною використовують вираз

$$v = 0,073\text{ВУ} = \frac{0,63}{\text{ВУ}}. \quad (1)$$

Температура спалаху характеризує вогненебезпечність нафтопродукту – чим нижче температура спалаху, тим більше він вогненебезпечний.

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 з пониженням температури відбувається внаслідок виділення з нафти твердих вуглеводнів, зазвичай парафінів. Температура застигання нафти коливається від +12 до -40 °С, чим більше вмісту парафіну в нафті, тим при більш високих температурах вона застигає.

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

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

Вища теплота згоряння – це кількість теплоти, що утворюється при згорянні 1 кг палива з урахуванням тепла, котре виникає за конденсації парів води.

Нижча теплота згоряння – це кількість теплоти, що менша за вищу теплоту, котра витрачається на випаровування води, яка виникає при спалюванні палива.

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

Об'ємна теплота згоряння – це кількість теплоти, що виділяється під час згоряння 1 м³ газоподібного палива. Вона зростає від парафінових вуглеводнів до нафтових та ароматичних у зв'язку зі збільшенням їхньої густини. Теплота згоряння різної нафти коливається у відносно невеликих межах: 41800...46000 кДж/кг.

Фракційний склад дає характеристику нафті і показує кількість складових частин (фракцій), що википають в певних

температурних інтервалах. В 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 та технічними умовами. Залежно від ступеня підготовки встановлено три групи нафт (I, II і III), які мають відповідати діючим нормам;

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

- від густини (кг/м^3) при 20 °C кожний клас нафти поділяється на три типи:

1 – легкі (до 850 кг/м^3);

2 – середні (від 851 до 835 кг/м^3);

3 – важкі (більше 885 кг/м^3).

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 мг/дм^3 та масовою часткою води 0,3 % (група 1) 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 в нафтопродукт.

Парафінові вуглеводні (рисунок 1) складаються з молекул у вигляді відкритих ланцюжків атомів, довжина яких визначається числом атомів вуглецю. Кожен атом (окрім кінцевих) вуглецевого скелета такого ланцюга має два приєднані атоми водню, утворюючи разом з ним метиленову групу CH_2 . Кожен кінцевий атом вуглецю має три приєднані атоми водню, утворюючи з ним метильну групу CH_3 .

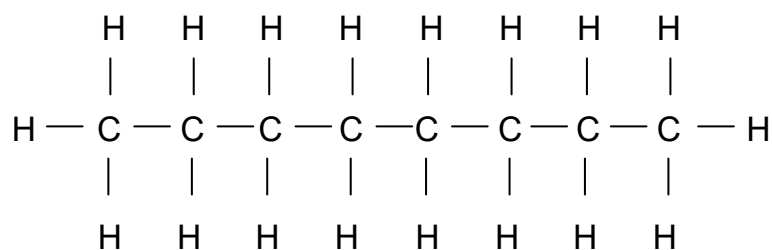


Рисунок 1 — Структура молекули парафінового вуглеводню

Парафінові вуглеводні є відкриті метиленові ланцюжки з метильними групами на кінцях. Загальний вміст парафінових вуглеводнів в нафтах і продуктах їх переробки складає близько 50...60 %.

Нафтенові вуглеводні складаються з молекул у вигляді кільця (циклів), утворених метиленовими групами CH_2 (рисунок 2).

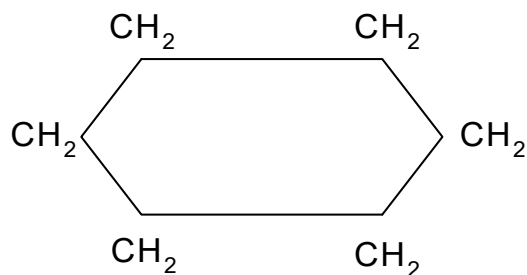


Рисунок 2 — Структура молекули нафтенового вуглеводню

З порівняння рисунків 1 і 2 видно, що нафтенові кільця можна розглядати як замкнуті метиленові ланцюжки. Зважаючи на таку схожість структури нафтенові вуглеводні за своїми фізико-хімічними властивостями близькі до парафінових. У нафті вміст нафтенових вуглеводнів зазвичай складає 20-30 %.

Ароматичні вуглеводні C_nH_n характеризуються, як і нафтенові, циклічною будовою (рисунок 3). Вони мають в 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 у порівнянні з парафіновими і нафтовими. У нафті вміст ароматичних вуглеводнів складає від 10 до 30 %.

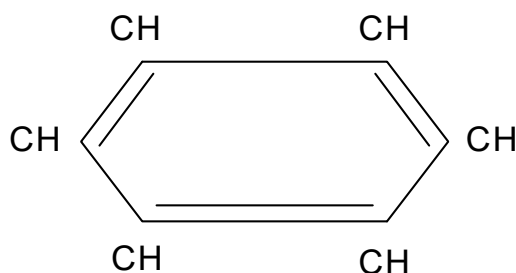


Рисунок 3 — Структура молекули ароматичного вуглеводню

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

Зображена на рисунку 4 молекула змішаного вуглеводня складається з нафтенових кілець (з п'ятьма або шістьма атомами вуглецю) з парафіновими бічними ланцюжками (їх число, довжина та розгалуженість можуть бути різними).

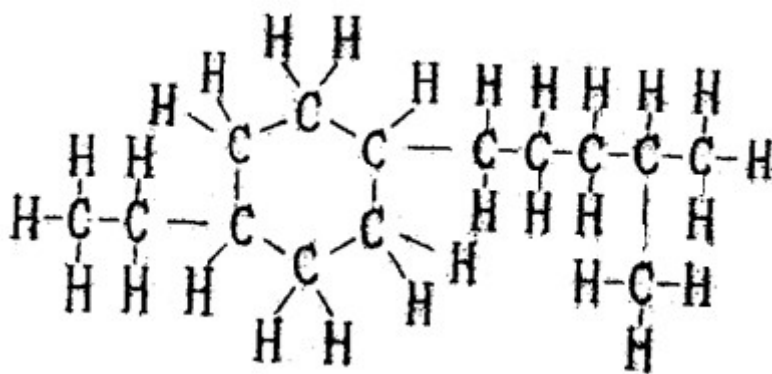


Рисунок 4 — Структура молекули вуглеводня змішаного типу

Паливо й оливи, що виробляються з нафти, є дуже складною сумішшю різних класів вуглеводнів та 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 сполучення дуже нестійкі, їм притаманні реакції приєднання. Вони легко окислюються, утворюючи смоли, органічні кислоти тощо. Ненасичені вуглеводні схильні також до реакції приєднання та конденсації, внаслідок яких у нафтопродуктах, особливо в паливі, накопичуються смолисто-

асфальтенові сполучення, що різко погіршують їхні властивості. Отже, ненасичені вуглеводні небажані в усіх нафтопродуктах, їх зазвичай видаляють під час очищення в процесі добування.

Головну масу неуглеводневих з'єднань в 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 нафтових кислот в паливі і оліях небажана, оскільки вони, реагуючи з металами, утворюють солі, що призводить до корозії деталей двигуна. Асфальтосмолисті речовини відносяться до складних хімічних сполучень, в молекулу 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 в нафтопродуктах збільшується нагароутворення на деталях двигуна, що призводить до коксоутворення. Окрім органічних сполучень, нафта містить мінеральні домішки: пісок, глину, пил, а також воду. У дуже незначних концентраціях в нафті зустрічаються калій, натрій, нікель, залізо та ін. Загальний вміст металів не перевищує 0,02 % маси нафти.

2 СУЧАСНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ Й ВИРОБЛЕННЯ ПАЛИВ ТА ОЛИВ

У сучасних умовах нафтопродукти виробляються переважно двома способами: фізичним і хімічним. 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, вилуговування та ін.), її переробку і хімічне очищення отриманих дистилятів.

Первинна переробка нафти. Процес вироблення палив та олив ґрунтується на тому, що вуглеводні, які входять до складу нафти, мають різноманітні фізичні й хімічні властивості, в 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 (рисунок 5).

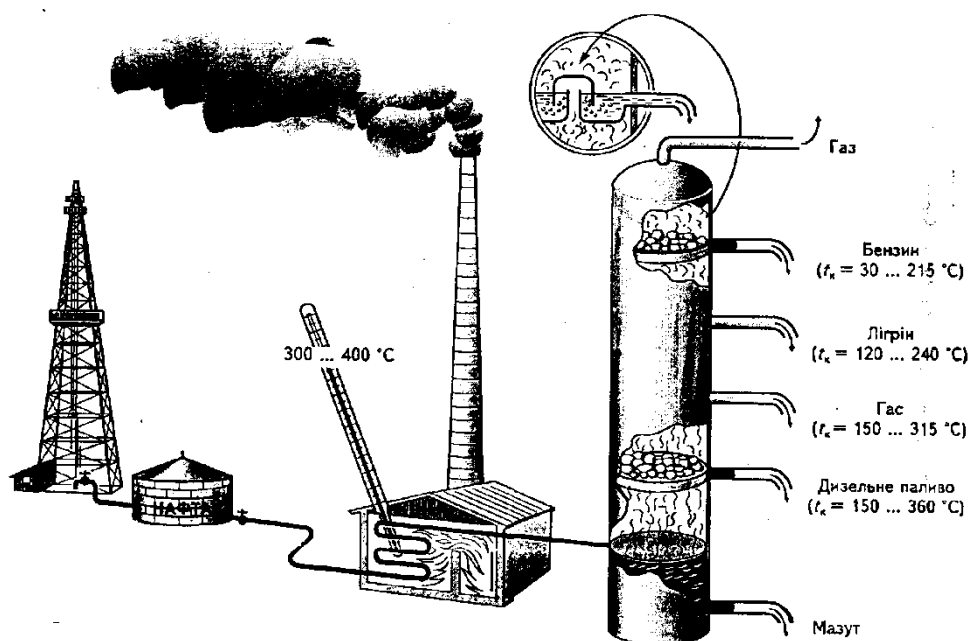


Рисунок 5 — Схема прямої перегонки нафти

Переганяють нафту в спеціальних ректифікаційних колонах. Технологічний процес перегонки нафти полягає в такому: сиру нафту (зневоднену) в спеціальних установках насосами прокачують через ряд теплообмінників, піддають попередньому підігріванню. З теплообмінників нафта надходить в трубчасту піч, де нагрівається до температури 320-360 °C. Далі вона надходить в колону ректифікації, в якій відбираються фракції за температурою кипіння. Колона має усередині ряд полиць –

тарілок з отворами, накритими спеціальними ковпачками. Пари легших вуглеводнів (бензину) піднімаються в верх колони, 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 (рисунок 6).

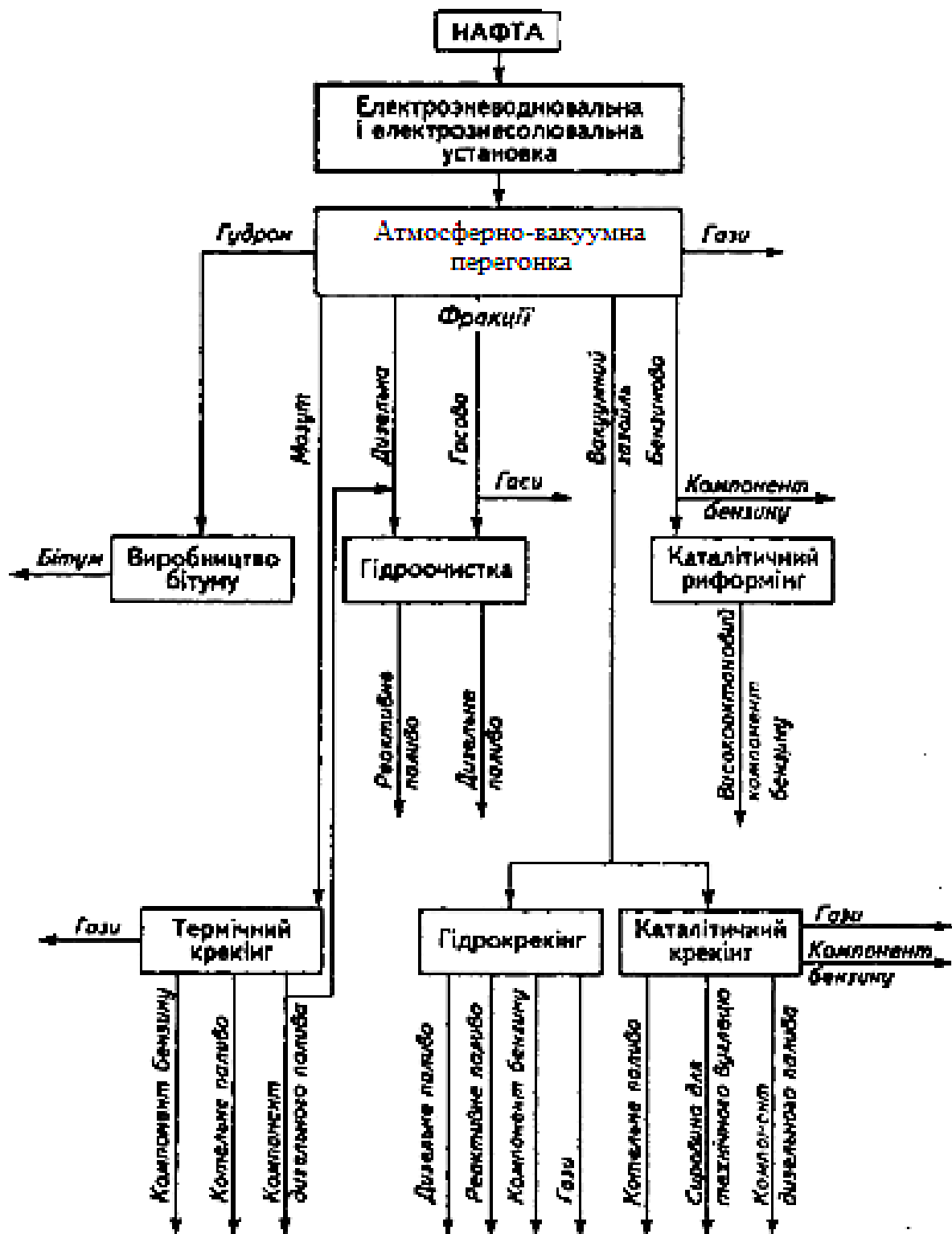


Рисунок 6 — Схема переробки нафти за паливним варіантом

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 – солярною оливою, а залишок з нафти після відгону – мазутом.

Залежно від родовища з нафти прямою перегонкою можна одержати такі **фракції: бензинові (10...15 % від маси вихідної нафти)**, що використовуються для вироблення автомобільних, авіаційних бензинів та розчинників; **лігроїнові й гасові (15...20 %)**, з яких дістають паливо для реактивних двигунів та гаси; **газойлеві й солярні (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)*.

Розроблені, вивчені й застосовуються на практиці різні методи вторинної переробки нафти – крекінгу: термічний, піроліз та каталітичний, гідрокрекінг, а також риформінг – каталітичний, термічний та ізомеризація.

Термічний крекінг низькосортної важкої нафтової сировини здійснюється за температури 470...540 °С під тиском 4...6 МПа з наступним риформінгом. Термічний крекінг, що здійснюється за температури 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 палива 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 та 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 газу (етилен, пропілен тощо) та ароматичні вуглеводні (ізооктан, бензол, нафталін та ін.), які додають у товарні бензини.

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

Каталітичний крекінг здійснюється в м'якших (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 дістають 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 за температури 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 дістати цільовий продукт (бензин, дизельне або реактивне паливо) з потрібним фракційним і хімічним складом. Сировиною можуть бути й бензинові фракції, тоді цільовим продуктом є зріджені газу (пропан-бутанові фракції).

Каталітичний риформінг здійснюється за температури 470...530 °С під тиском 2...4 МПа в присутності каталізаторів

(коли використовується платина, процес називають платформінгом).

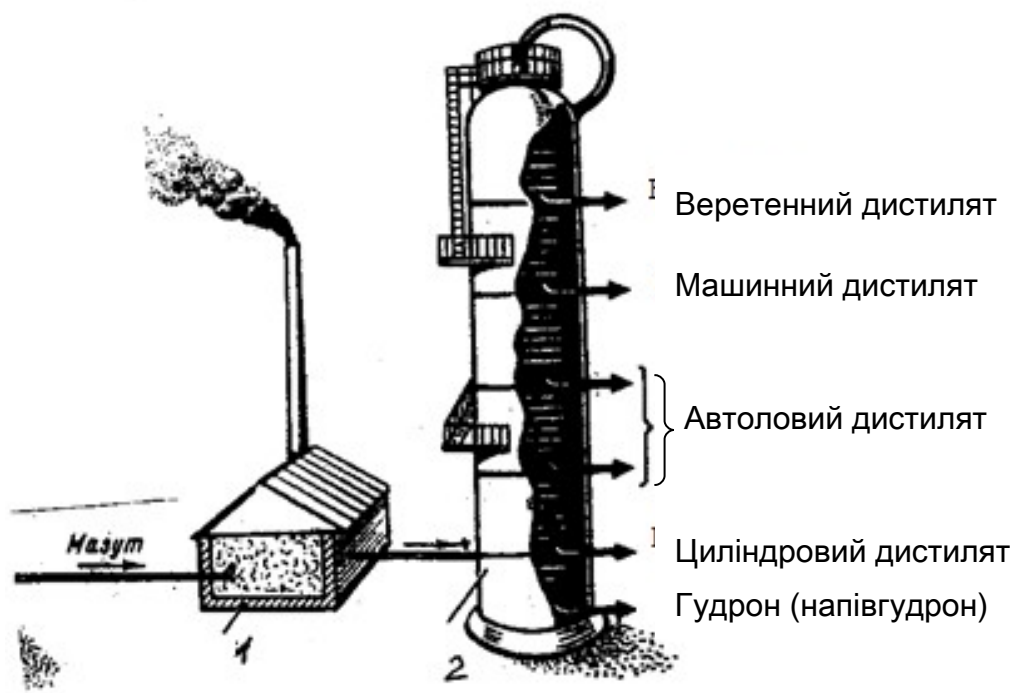
Термічний риформінг здійснюється за температури близько 550 °С під тиском 5 МПа.

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 добавки 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 олів.

Мазут є сумішшю різних висококиплячих важких вуглеводнів. Відомо, що вуглеводень, який має при атмосферному тиску температуру кипіння 500 °С, при зниженому тиску близько $1,3 \cdot 10^{-3}$ МПа кипить при 230 °С. 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 °С, а в ректифікаційній колоні підтримується тиск близько $5,3 \cdot 10^{-3} \dots 7,3 \cdot 10^{-3}$ МПа (рисунок 7).



1 – трубчата піч; 2 – ректифікаційна колона

Рисунок 7 — Схема отримання олив з мазуту

Перегонка мазуту під вакуумом дозволяє розділити його на легкі, середні і важкі масляні дистилляти, 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 дистиллятів, які разом із залишком є напівпродуктами. В них, окрім вуглеводнів, містяться різні шкідливі домішки: асфальтосмолисті речовини, кислоти, сірчисті з'єднання, які погіршують якість оливи. Тільки після видалення цих домішок різними способами очищення (сернокислотним, земельним, селективним, деасфальтизацією, депарафінізацією) отримують готові оливи. Оливи, що отримані очисткою оливних дистиллятів, називають дистиллятами, на відміну від олив, отриманих із залишків, які називаються залишковими. Слід мати на увазі, що оливний дистиллят і дистиллятна 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 з'єднання, що знаходяться в нафтопродукті, що очищається, вступають в хімічні реакції з реагентом, а в другому очищення засноване на фізичних процесах (розчиненні небажаних домішок, адсорбції їх на поверхнево – активних речовинах і тому подібне).

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 сульфоз'єднання, а на деякі вуглеводні зовсім не реагує. Для очищення нафтопродуктів зазвичай беруть 96 %-ву сірчану кислоту, оскільки димляча кислота руйнує корисні вуглеводні.

Очищення лугом зазвичай доповнює сірчано-кислотне. Іноді застосовують тільки лужну очистку, мета якої – нейтралізувати кислі з'єднання, що утворилися від дії сірчаної кислоти і містяться в продукті, який очищається. При лужному очищенні продукт промивають 10 %-вим водним розчином їдкої натрії, а потім водою для видалення залишків луку і солей, після чого просушують перегрітою парою.

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

Селективне очищення олій роблять вибірними розчинниками, в ролі яких використовують органічні речовини:

рідкий пропан, фенол, нітробензол, фурфурол та ін. Метод є суто фізичним, оскільки ні в які хімічні реакції розчинник не вступає. При обробці утворюються два шари: рафінад (очищений продукт) і екстракт (витягнута небажана домішка). Добрі результати виходять, 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 з'єднання, що легко осідають з розчиненої в пропані оливи.

Депарафінізація олив робиться в цілях 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°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°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 з'єднань – *гідроочищення*. Суть його полягає в обробці продукту, що очищається, воднем під тиском. Гідрування ведеться у присутності каталізаторів. Сірка витісняється воднем, утворюючи сірководень, який потім видаляється.

3 ТРИБОЛОГІЯ, ТРИБОТЕХНІКА, ХІМОТОЛОГІЯ

Технічний рівень сучасних ДВЗ визначається параметрами їх робочого процесу і залежить від цілого комплексу заходів, що проводяться від проектування і виготовлення до експлуатації. При цьому великого значення набуває надійність, тобто їх здатність виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення експлуатаційних показників в заданих межах. Проте в переважній більшості випадків умови експлуатації двигунів дуже жорсткі, що

знижує їх надійність за рахунок зносу 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 % обумовлене процесами зношування.

Таким чином, боротьба зі зношуванням є актуальною. Для зниження тертя і зносу застосовуються мастильні оливи на нафтовій основі. Використання оливо позитивно впливає на надійність ДВЗ, що призводить до зниження їх простоїв, витрат на запчастини і тому подібне.

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

Усе це стимулювало створення і розвиток наукових напрямків, що мають важливе практичне значення для вирішення завдань підвищення надійності і економічності машин, у т.ч. локомотивів. 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 в техніці.

Хімотологія – це напрям в науці й техніці, який вивчає експлуатаційні властивості палив, оливо та спеціальних рідин, а також розробляє теоретичні та практичні проблеми їх раціонального застосування в техніці.

Хімотологія – молода наука, що тільки починає розвиватися. Вона склалася на стику хімії та двигунобудування. У хімотології двигун, паливо й оливи розглядаються як складові чотириланкової системи (рисунок 8), ланки якої перебувають в якісному взаємозв'язку.

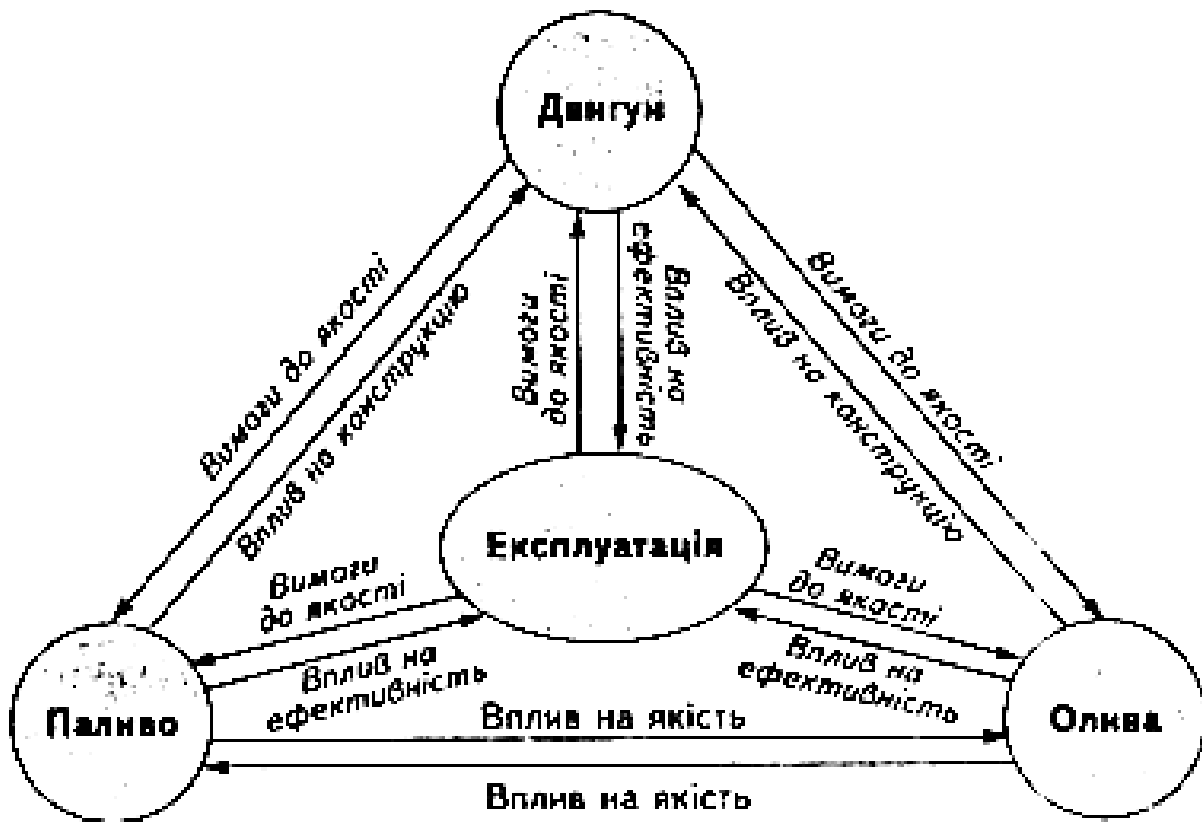


Рисунок 8 – Хімотологічна чотириланкова система:
двигун – паливо – олива експлуатація

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, розв'язуючи 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.

Розв'язуючи 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 олиव 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 та їх уніфікація;
- визначення оптимальних умов, за яких забезпечуються збереження властивостей ПММ та зниження їх втрат під час зберігання, транспортування, заправлення й використання;
- розробка і впровадження кваліфікаційних методів та їхніх комплексів для оцінки експлуатаційних властивостей ПММ;
- розробка 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.

4 ПАЛИВО. КЛАСИФІКАЦІЯ, СКЛАД ТА ВЛАСТИВОСТІ ПАЛИВ

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

До твердого палива відносяться: 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 відносяться: природне – нафта і газовий конденсат; штучне – бензин, гас, дизельне паливо, мазут, смола, сланцева олива, етанол.

До газоподібного палива: 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 усій 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 в горючій масі і вмісту в паливі баласту (волога 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.

Вуглець є найважливішим компонентом горючої маси палива. Вміст вуглецю в горючій масі різних видів палива коливається від 50 до 99 % (таблиця 1).

Таблиця 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

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 рівна 4,1868 Дж).

Водень – другий за значенням компонент палива. Вміст водню в горючій масі різних видів палива подано в таблиці 1. При згоранні 1 кг газоподібного водню виділяється 142000 кДж з утворенням води. Отже, при згоранні 1 кг газоподібного водню виділяється в 4,2 рази більше тепла, ніж при спалюванні 1 кг вуглецю. Звичайно, що теплота згорання палива значно зростає з підвищенням вмісту в ньому водню.

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 таблиці 1. Вміст 1 % кисню в горючій масі палива знижує його теплоту згорання внаслідок часткового окислення вуглецю і водню в середньому на 108 кДж/кг.

Азот є інертною складовою частиною 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 в 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 вироблює 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 сполучень. Вміст сірки в нафтах складає від 0,1 до 3,5 %. У газоподібне паливо сірка входить у вигляді сірководня H_2S і частково сірковуглецю CS_2 і інших органічних сполучень. Сірка різко знижує цінність палива. При високому вмісті горючої сірки, наприклад в 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* та 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 ґратах. При шаровому спалюванні в топках палива, що не спікається, спостерігається велике унесення часток палива з шару, а також значні втрати з провалом через колосникові ґрати.

Фізичний стан палива визначається наявністю в паливі мінеральної маси (внутрішні і зовнішні домішки), яка в процесі згорання піддається 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 $W_{\text{р}}$. 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 і у вигляді емульсії. Вміст вологи в паливі коливається від часток відсотка в рідкому паливі, до 30 % у бурому вугіллі і до 50 % і більш у вологих дровах і свіжоздобутому торфі.

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

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 при тому, якщо піднести 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 нижча температура, при якій паливо спалахує без дії якогось 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 теплотворна здатність (теплоутворення) палива – це кількість тепла, що виділяється при повному згоранні 1 кг (кДж/кг) або 1 м³ (кДж/м³) палива. При визначенні *вищої теплоти згорання* Q_v враховується уся теплота, що виділяється при згоранні палива. При визначенні *нижчої теплоти згорання палива* Q_n не враховується теплота, що витрачається на випарювання води палива і води, отриманої при спалюванні водню.

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

Вища питома теплота згорання рідкого і твердого палива визначається експериментально або обчислюється розрахунковим шляхом за формулою Д. І. Менделєєва

$$Q_v = 396C + 1256H - 109(O - S), \text{ кДж / кг.} \quad (2)$$

У свою чергу нижча питома теплота згорання визначається як різниця

$$Q_n = Q_v - 25(9H + W), \text{ кДж / кг,}$$

де C , H , O , S і W – вміст в паливі вуглецю, водню, кисню, сірки та води у відсотках.

Середні величини нижчої 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 їх теплотою згорання. Теплота згорання умовного палива прийнята 29307 кДж/кг (7000 ккал/кг), що відповідає приблизно теплоті згорання вугілля середньої якості.

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

Залежно від сфери застосування розрізняють такі види рідкого палива:

- бензини – для авіаційних і 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 дільницях для перевезення вантажів та пасажирів застосовуються тепловози, дизель-поїзди та рейкові автобуси. Маневрова робота виконується також тепловозами. Живлення ДВЗ тепловозів та дизель-поїздів виконується дизельним паливом. В локомотивному господарстві (ЛГ) застосовується також бензин (автомобілі та автобуси), кам'яне вугілля та природний газ для опалення приміщень та 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 й постійного струму, що виробляється гідростанціями, АЕС, ТЕС та тепловими станціями. На останніх використовується в основному кам'яне вугілля та природний газ.

У подальшому більш детально розглянемо властивості та склад бензину та дизельного палива.

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 та якості палива.

Бензин – це складна суміш вуглеводнів із різною температурою кипіння: від 30...35 до 195...215 °С. Товарний бензин складається із суміші бензинових фракцій, добутих різними способами переробки нафти прямою перегонкою й крекінгами. В 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 в 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 із 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.

Основні параметри бензинів є такі: *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 4063-2001 подано в таблиці 2.

Найважливішими показниками якості бензинів є *детонаційна стійкість та кислотність*. Підвищення ступеня стиску 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 згоряє не поступово, а вибухає. Таке явище дістало назву *детонації двигуна*.

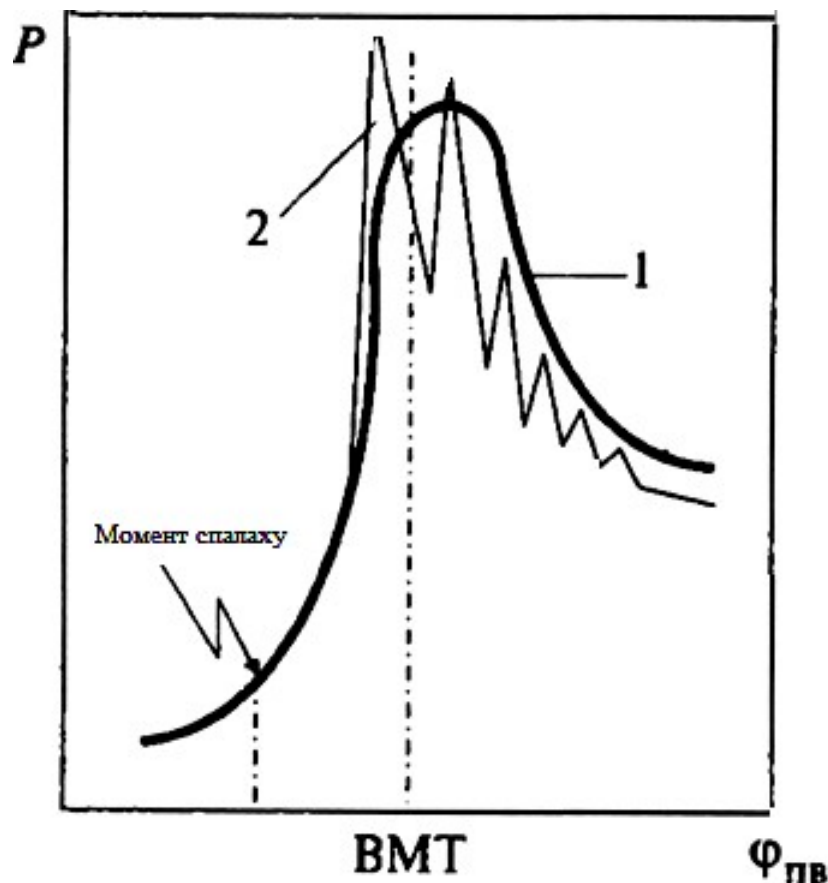
Таблиця 2 – Основні показники бензинів

Показник	A-76	A-92	A-95
Октанове число, не менше: за дослідницьким методом	-	92	95
за моторним методом	76	85,2	85
Концентрація свинцю, г, на 1 дм ³ бензину, не більше	0,013	0,013	0,013
Тиск насиченої пари бензину, кПа, не більше	79,9	79,9	79,9
Кислотність, КОН на 100 см ³ бензину, мг, не більше	3,0	3,0	3,0
Концентрація фактичних смол в 100 см ³ бензину, мг, не більше:			
на місці виробництва	5	5	5
на місці споживання	10	10	10
Масова частка сірки, %, не більше	0,05	0,05	0,05
Водорозчинні кислоти і луги	Відсутність		

Механічні домішки і вода	Відсутність
Колір	Безбарвний або блідо-жовтий

На рисунку 9 подано розгорнуту індикаторну діаграму, тобто залежність зміни тиску P в циліндрі двигуна від кута повороту колінчастого вала $\varphi_{пв}$ при нормальному і детонаційному згоранні суміші.

Здатність бензину згорати у двигуні з іскровим запалюванням без вибуху дістала назву *детонаційної стійкості*. Встановлено, що детонаційна стійкість залежить не тільки від антидетонаційних властивостей бензину, а й від режиму роботи двигуна й умов його експлуатації: атмосферних умов, нагароутворення, частоти обертання колінчастого вала двигуна, випередження запалювання, температури циліндрів, складу робочої суміші та дроселювання двигуна.



1 – нормальне згорання; 2 – детонаційне згорання;
ВМТ – верхня мертва точка

Рисунок 9 – Індикаторна діаграма

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, дістав 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 згоряти без детонації, навіть за високого стиску. 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 дослідницький. 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 стиску під час його роботи від 4 до 10. Цей пристрій оснащений електродвигуном, генератором постійного струму та спеціальним ресивером для підтримки сталої вологості повітря. В комплект пристрою входить також

електронна апаратура для вимірювання інтенсивності детонації та пульт керування.

Октанове число за *моторним методом* (ОЧМ) визначають при частоті обертання колінчастого вала $n=(900\pm 10)$ хв⁻¹ і підігріванні робочої суміші до 150 °С, а за дослідницьким методом (ОЧД) – при $n=(600\pm 6)$ хв⁻¹, але без підігрівання. Октанове число бензинів А-92, А-95, А-98 визначається дослідницьким методом. При цьому октанове число, визначене за дослідницьким методом, декілька 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 згоряння суміші.

Потрібне октанове число бензину можна визначити розрахунковим шляхом за залежністю

$$ОЧ=125,5 - 413/\varepsilon + 0,183D, \quad (3)$$

де ОЧ – октанове число бензину;

ε – ступінь стиску 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 на 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 сполучень у паливі виявляють випробуванням на мідну пластинку, яку після ретельного очищення витримують в паливі протягом 3 год за температури 50 ± 2 °С. Максимальна кількість сірки в автомобільних бензинах – не більш як 0,1 %, в останніх — 0,05, оскільки з її підвищенням зношування деталей двигуна різко зростає. Наявність у паливі сірчаних сполучень (особливо дисульфідів та меркаптанів) погіршує його стабільність і сприяє смолоутворенню.

Товарні автомобільні бензини в Україні виробляють за ДСТУ 4063-2001, а також ДСТУ 4839:2007. З 01.01.2016 р. введено в дію ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро», який скасовує з 01.07.2016 р. дію попередніх стандартів та 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 4063-2001 передбачає випуск бензинів таких марок:

А-76 – з октановим числом за моторним методом не менше 76;

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.

Приклад умовного позначення: «Бензин автомобільний А-76 за ДСТУ 4063-2001».

Залежно від октанового числа ДСТУ 4839:2007 встановлено такі марки бензинів:

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

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

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

За вмістом сірки бензини ділять на два види:

I – вміст сірки не більше ніж 10 мг/кг;

II – вміст сірки не більше ніж 50 мг/кг.

Залежно від умов використання встановлюють класи леткості: літні класи – А, В; зимові класи – С, D, Е, F; перехідні класи – С₁, D₁, Е₁, F₁.

Приклад умовного позначення: «Бензин автомобільний підвищеної якості А-95-Євро виду I класу А згідно з ДСТУ 4839:2007».

Основні властивості бензинів за ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро» наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристика бензинів за ДСТУ 7687:2015

Назва показника	Значення для марок		
	А-92-Євро	А-95-Євро	А-98-Євро
1 Детонаційна стійкість: октанове число за дослідним методом, не менше ніж	92,0	95,0	98,0
октанове число за моторним методом, не менше ніж	82,5	85,0	88,0
2 Концентрація свинцю, мг/дм ³ , не більше ніж	5	5	5
3 Густина за температури 15 °С, кг/м ³ у межах	720-775	720-775	720-775
4 Вміст сірки, мг/кг, не більше ніж	10	10	10
5 Вміст марганцю, мг/л	2,0	2,0	2,0
6 Стійкість до окиснення (індукційний період), хв, не менше ніж	360	360	360

7 Концентрація фактичних смол, мг/100 см ³ , не більше ніж	5	5	5
8 Випробовування на мідній пластинці чи корозія мідної пластинки (3 год ± 5 хв) за температури 50 °С, клас, не більше ніж	витримує 1	витримує 1	витримує 1
9 Зовнішній вигляд	прозорий та світлий, без механічних домішок і води		
10 Об'ємна частка вуглеводнів, %, не більше ніж:			
- олефінових	18	18	18
- ароматичних	35	35	35
11 Об'ємна частка бензолу, %, не більше ніж	1,0	1,0	1,0
12 Масова частка кисню, %, не більше ніж	2,7	2,7	2,7
13 Об'ємна частка органічних кисневмісних сполук, %, не більше ніж:			
- 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 ніж 21 °С	10,0	10,0	10,0

Для виробництва товарних високооктанових бензинів використовуються ізооктан, ізопептан і толуол, а також добавки кисневмісних компонентів: метилтретиннобутиловий ефір (МТБЕ), третилбутилова суміш (ТБС), високооктанова киснева добавка (ВКД), етилтретиннобутиловий ефір (ЕТБЕ), (таблиця 4).

Таблиця 4 — 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					

згоряння, кДж/кг	19469	26713	32683	35150	36042
Теплота випарювання, кДж/кг	1101	837	527	342	311
Густина за 20 °С, кг/м ³ (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 таблиці 5 показана взаємозамінність бензинів вітчизняного і зарубіжного виробництва.

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 5 – Взаємозамінність бензинів

Вітчизняний бензин	Зарубіжний бензин		
	Марка	Специфікація	Країна
А-76, ДСТУ 4063-2001	Звичайний Type 2	ONO RM 113 JIS K 2202-80 CAN 2-3,5-79	Австрія Японія Канада
А-92, ДСТУ 4839:2007	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 дослідницьким методом», усі вони літні та малоетиловані (вміст свинцю до 0,01 г/дм³).

ПИТАННЯ ДЛЯ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

- 1 Яке призначення нафти та нафтопродуктів?
- 2 Поясніть хімічний склад нафти.
- 3 Як впливають на властивості палив і олив густина, в'язкість і температура згоряння?
- 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 надають 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 та 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 очистки нафтопродуктів.
- 18 Що таке трибологія, триботехніка, хімотологія?
- 19 Назвіть класифікацію, склад та властивості палив.
- 20 Надайте характеристику температури самозаймання, горіння палива.
- 21 Що таке теплота згоряння палива та її різновиди?
- 22 Що таке умовне та натурне паливо?
- 23 Що таке бензин та які вимоги ставлять до нього?
- 24 Що таке випаровуваність бензинів?
- 25 Як впливає фракційний склад бензину на пуск 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.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Мурзин, Л.Г. Топливо, вода, смазка [Текст] / Л.Г. Мурзин, В.М. Гончаров. – М.: Транспорт, 1981. – 253 с.

2 Меркурьев, Г.Д. Локомотивным бригадам о топливе и смазочных материалах [Текст] / Г.Д. Меркурьев. – М.: Транспорт, 1988. – 125 с.

3 Інструкція по технічному нормуванню витрат електричної енергії і палива локомотивами на тягу поїздів [Текст]: ЦТ-0059: Затверджено М-вом трансп. та зв'язку України 28.03.2003. – К.: Укрзалізниця, 2003. – 85 с.

4 Аржанухин, Г.В. Эксплуатационные материалы: топливо, смазочные материалы и технические жидкости [Текст]: учеб. пособие / Г.В. Аржанухин. – М.: МГИУ, 2006. – 83 с.

5 Данилов, А.М. Применение присадок в топливах [Текст] / А.М. Данилов. – М.: Мир, 2005. – 288 с.

6 Емельянов, В.Е. Автомобильный бензин и другие виды топлива: свойства, ассортимент, применение [Текст] / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов. – М.: Астрель: АСТ: Профиздат, 2005. – 207 с.

7 Полянський, С.К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин [Текст]: підручник / С.К. Полянський. – К.: Либідь, 2005. – 504 с.

8 Стрелко, В. Биодизель – актуальная идея столетней давности [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.biodisel.com.ua/category/> – (Дата звернення 15.03.2016).

9 Стуканов, В.А. Автомобильные эксплуатационные материалы [Текст]: учеб. пособие. Лабораторный практикум / В.А. Стуканов. – М.: ИД "Форум": ИНФРА-М, 2006. – 208 с.

10 Кузнецов, А.В. Топливо и смазочные материалы [Текст]: учебник / А.В. Кузнецов. – М.: КолосС, 2007. – 198 с.

11 Бойченко, С.В. Хімотологія [Текст]: навч. посібник / С.В. Бойченко [та ін.]. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2006. – 160 с.

12 Автомобильные эксплуатационные материалы зарубежного производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://vtk34.narod.ru/shevireva_avtmatzarub/intex/htm. – (Дата звернення 15.03.2016).

13 Руднев, В.К. Эксплуатационные материалы для строительных и дорожных машин [Текст]: учеб. пособие / В.К. Руднев, Е.С. Венцель, Е.Н. Лысиков. – К.: ИСИО, 1993. – 236 с.

14 Анисимов, И.Г. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение [Текст]: справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов [и др.]; под ред. В.М. Школьников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИП «Техинформ», 1999. – 596 с.

