

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра ДВЗ

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни  
“Екологія автомобільного транспорту”

для спеціальності 7.090210, ДВЗ

Укладач: доц. Кабанов О.М.

Харків ХНАДУ 2011

УДК 662.611  
ББК 31.365  
К74

Рецензент:

*Абрамчук Ф.І., д.т.н., професор (ХНАДУ)*  
*Дяченко В.Г., д.т.н., професор (НТУ «ХП»)*

К74 Кабанов О.М.

Екологія автомобільного транспорту. Конспект лекцій. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2011. – 142 с.

Наведено теоретичні відомості та розрахункові формули, необхідні для засвоєння курсу дисципліни студентами.

Призначений для самостійної роботи студентів автомобільного факультету очної форми навчання, що вивчають загальний курс з екології автомобільного транспорту.

Іл. 42, табл. 18, бібліогр. 10 найм.

УДК 62 - 82 (072)  
ББК 34.447

© Кабанов О.М., 2011 р.

© Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2011 р.

## ВСТУП

Автомобілізація значною мірою обумовила розвиток технічного прогресу і цивілізації. Однак вона має й негативні риси: автотранспорт є одним із найбільших споживачів матеріальних і енергетичних ресурсів; транспортні засоби і інфраструктура з їх обслуговування забруднюють довкілля. Особливо гострою є проблема забруднення навколишнього середовища у місцях великого скупчення автомобілів, тобто у мегаполісах та великих промислових центрах.

Негативні наслідки автомобілізації здебільшого зумовлені тим, що основною силовою установкою автомобілів та інших наземних транспортних машин є тепловий двигун, який перетворює теплоту згоряння палива на роботу. Найчастіше в якості силової установки застосовують поршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), які працюють на вуглеводневому паливі (рідкому або газовому).

При спалюванні вуглеводневого палива в атмосферу викидаються продукти згоряння, які містять близько 400 хімічних речовин, у тому числі токсичних та канцерогенних. Забруднення атмосфери цими речовинами викликає глобальні, регіональні та локальні (місцеві) екологічні проблеми.

Особливо гострою є проблема забруднення атмосферного повітря. Сьогодні концентрації шкідливих речовин в атмосфері промислових центрів у кілька разів перевищують допустимі граничні значення.

У загальному забрудненні атмосфери суттєва частка належить автомобільному транспорту, який по Україні в цілому за рік викидає у навколишнє природне середовище до 10 мільйонів тонн шкідливих речовин, з яких нормуються тільки оксид вуглецю, легкі вуглеводні, оксиди азоту, а для дизелів – додатково тверді частинки. Але нормовані шкідливі речовини – це лише незначна частка всіх шкідливих речовин, що потрапляють до атмосфери. Викиди найбільш шкідливих для людини складових відпрацьованих газів автомобілів, зокрема канцерогенних речовин, поки що не нормуються.

Суспільство давно усвідомило небезпеку, яку створює антропогенне забруднення, і почало шукати шляхи розв'язання екологічних проблем. Міжнародні угоди та внутрішнє законодавство розви-

нених країн у сфері природоохоронної діяльності, підкріплені виділенням ресурсів та належним фінансуванням, сприяють розробці і впровадженню новітніх технічних та організаційних рішень, завдяки яким вже сьогодні можна забезпечувати суттєве поліпшення екологічної ситуації як на регіональному, так і на глобальному рівні. Отже, перед суспільством стає проблема підготовки фахівців, які займаються проблемами створення і обслуговування ДВЗ, автомобілів та їх інфраструктури, таким чином, щоб вони усвідомлювали необхідність не тільки покращання споживчих якостей цієї продукції, но і зниження її шкідливого впливу на людину і навколишнє середовище. Ці фахівці повинні усвідомлювати не тільки юридичну відповідальність перед екологічним законодавством, но і моральну відповідальність перед суспільством і нащадками.

Виходячи з вищенаведеного, предметом дисципліни «Екологія автомобільного транспорту» стала сукупність технічних та організаційних заходів, які забезпечують зменшення негативного впливу автомобільного транспорту на людину та навколишнє природне середовище.

Мета викладання дисципліни – підготовка студентів до самостійного вирішення професійних задач в області двигунів внутрішнього згоряння у відповідності з вимогами професійно-кваліфікаційної характеристики.

Основними задачами навчальної дисципліни є формування у студентів комплексу знань, вмінь, навичок і уявлень, необхідних для вирішення задач зниження негативного впливу автомобільного транспорту на людину і навколишнє середовище.

# ТЕМА «ПРАВОВІ ОСНОВИ ПРИРОДООХОРОННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ»

## Лекція 1

1. Державні органи, що контролюють природоохоронну діяльність в Україні.
2. Нормативні акти, що регулюють екологічні відносини в Україні.
3. Правові механізми, що мають стимулювати суб'єктів господарської діяльності зменшувати викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

1. Державні органи, що контролюють природоохоронну діяльність в Україні.

Законодавче забезпечення природоохоронної діяльності здійснює Верховна Рада України, в якій є спеціалізований «Комітет з питань екологічної політики, природокористування та ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи».

Центральним органом виконавчої влади є Кабінет Міністрів України, який видає постанови Кабінету Міністрів, що конкретизують механізми реалізації законів. Безпосередньо екологічними проблемами опікується спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів. Таким органом є Міністерство екології та природних ресурсів (далі – Мінекології).

Державний контроль у галузі охорони навколишнього середовища здійснюється спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів, його органами на місцях та іншими уповноваженими державними органами, радами та їх виконавчими і розпорядчими органами.

Громадський контроль у галузі охорони навколишнього середовища здійснюється громадськими інспекторами згідно з положенням, яке затверджується спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів.

Нагляд за додержанням законодавства про охорону навколишнього середовища здійснює Генеральний прокурор України та підпорядковані йому органи прокуратури.

## 2. Нормативні акти, що регулюють екологічні відносини в Україні.

Основним правовим актом є Конституція України, яка встановлює фундаментальні принципи та положення, що конкретизуються далі у спеціальному законодавстві. Природоохоронна діяльність в Україні базується на таких статтях Конституції.

Стаття 13. Земля, її надра, атмосферне повітря, водні та інші природні ресурси, які знаходяться в межах території України, природні ресурси її континентального шельфу, виключної (морської) економічної зони є об'єктами права власності Українського народу.

Кожний громадянин має право користуватися природними об'єктами права власності народу відповідно до закону.

Власність зобов'язує. Власність не повинна використовуватися на шкоду людині та суспільству.

Стаття 14. Земля є основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави.

Право власності на землю гарантується. Це право набувається і реалізується громадянами, юридичними особами та державою виключно відповідно до закону.

Стаття 16. Забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України, подолання наслідків Чорнобильської катастрофи – катастрофи планетарного масштабу, збереження генофонду Українського народу є обов'язком держави.

Стаття 50. Кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди.

Кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення. Така інформація ніким не може бути засекречена.

Стаття 66. Кожен зобов'язаний не заподіювати шкоду природі, культурній спадщині, відшкодовувати завдані ним збитки.

Основним законом, який регулює екологічні відносини в Україні, є Закон “Про охорону навколишнього природного середовища”, прийнятий Верховною Радою 25 червня 1991 р., з наступними змінами.

У Законі встановлені принципи охорони навколишнього середовища, він закріплює екологічні права та обов'язки громадян України, визначає повноваження Верховної та місцевих рад народних депутатів, органів управління (Кабінету Міністрів України, виконавчих і розпорядчих органів місцевих рад народних депутатів) у галузі охорони навколишнього середовища.

Закон визначає поняття екологічної безпеки та заходи щодо її забезпечення, екологічні вимоги до розміщення, проектування, будівництва, реконструкції, введення в дію підприємств та інших об'єктів, вимоги до застосування мінеральних добрив, засобів захисту рослин, токсичних хімічних речовин.

Закон передбачає заходи з охорони навколишнього середовища від шкідливого біологічного впливу, шкідливого впливу фізичних факторів та радіоактивного забруднення виробничими, побутовими та іншими відходами.

У Законі визначено поняття зон надзвичайних екологічних ситуацій (екологічної катастрофи та підвищеної екологічної небезпеки).

Закон України “Про охорону атмосферного повітря”, прийнятий 16 жовтня 1992 р., встановлює порядок затвердження екологічних стандартів і нормативів щодо: гранично-допустимих концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі; гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря для стаціонарних та пересувних джерел викидів; граничних нормативів утворення забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферне повітря при експлуатації технологічного та іншого обладнання.

Закон також встановлює правові відносини між органами державного управління та суб'єктами господарської діяльності з питань використання у будь-який спосіб атмосферного повітря.

Закон України “Про транспорт”, прийнятий 11 листопада 1994 р., визначає умови перевезень, порядок використання транспортних засобів, організації і безпеки руху, охорони громадського порядку,

пожежної безпеки, а також санітарні та екологічні вимоги, що діють на транспорті.

Закон встановлює, що транспортні засоби повинні відповідати вимогам безпеки, охорони праці й екології, державним стандартам, мати відповідний сертифікат. Транспортні підприємства несуть відповідальність за шкоду, завдану навколишньому середовищу, відповідно до чинного законодавства України.

Контроль за дотриманням законодавства на транспорті здійснюють відповідні органи виконавчої влади й органи місцевого самоврядування у межах своєї компетенції.

Якщо міжнародним договором, підписаним та ратифікованим Україною, встановлені інші правила, ніж ті, що є в її внутрішньому законодавстві, то застосовуються правила відповідного міжнародного договору.

Механізми практичної реалізації основних конституційних норм та норм спеціальних законів у галузі охорони навколишнього середовища визначені у постановах Кабінету Міністрів України, зокрема:

– «Положення про Державну екологічну інспекцію» від 17.11.2001 р. № 1520;

– «Про затвердження такс для обчислення розміру відшкодування шкоди, заподіяної порушенням природоохоронного законодавства у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України» від 21.04.1998 р. № 521;

– «Про затвердження Порядку проведення та оплати робіт, пов'язаних з видачею дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, обліку підприємств, установ, організацій та громадян-підприємців, які отримали такий дозвіл» від 13.03.2003 р. № 302;

– «Про перелік видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку» 27.07.1995 р. № 554;

– «Про порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується» від 09.11.1996 р. № 1100 зі змінами, внесеними Постановою КМ № 72 від 24.01.2002 р.;



- «Про затвердження нормативів збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики та водного транспорту» від 18.05.1999 р. № 836;
- «Про порядок встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору» від 01.03.1999 р. № 303;
- «Про внесення змін у додаток 1 до Порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору» від 18.03.2003 р. № 402.

### 3. Правові механізми, що мають стимулювати суб'єктів господарської діяльності зменшувати викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Викиди будь-яких шкідливих речовин у навколишнє середовище можна здійснювати лише на підставі дозволу, виданого уповноваженим органом виконавчої влади і лише в межах встановлених лімітів.

Забруднювати навколишнє середовище речовинами, на які не встановлені нормативи гранично-допустимих викидів, категорично заборонено.

У разі, коли викиди здійснюються в межах встановлених лімітів, юридичні особи сплачують плату за забруднення навколишнього середовища.

За перевищення встановлених лімітів викидів або викиди шкідливих речовин без дозволу уповноваженого органу законодавством передбачено штрафи, розмір яких встановлюють спеціальні методики.

У випадку систематичного порушення екологічного законодавства виробнича діяльність підприємства може бути припинена у судовому порядку.

За порушення екологічного законодавства винні посадові особи несуть матеріальну, дисциплінарну (адміністративну) відповідальність, а у разі заподіяння шкоди здоров'ю людей та навколишньому середовищу в особливо великих розмірах (з тяжкими наслідками) настає кримінальна відповідальність.

Порядок розробки та затвердження нормативів на викиди шкідливих речовин, а також порядок видачі дозволів на викиди забруднюючих речовин встановлюють такі інструкції Мінекології України:

«Про порядок розробки та затвердження гранично-допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами», 1994;

«Про порядок узгодження та видачі дозволів на спеціальне використання водних ресурсів для оборонних та інших спеціальних об'єктів», 1994;

«Про порядок розгляду документів та умови видачі дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами», 1995;

«Про порядок розробки і затвердження нормативів гранично-допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами», 1996;

«Про порядок розробки, встановлення, перегляду та доведення лімітів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря», 1996.

Для розрахунку розмірів плати та штрафів використовують такі методики:

– «Методика визначення розмірів плати і стягнення платежів за забруднення навколишнього природного середовища», 1993;

– «Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів», 1995.

### **Контрольні запитання**

1. Які державні органи контролюють природоохоронну діяльність в Україні?

2. Який основний правовий акт регулює екологічні відносини в Україні?

3. Які Закони України регулюють екологічні відносини в Україні?

4. Яку відповідальність несуть посадові особи за порушення екологічного законодавства України?

# ТЕМА «ВПЛИВ ЗАБРУДНЕНЬ НА ЛЮДИНУ ТА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ»

## Лекція 2

1. Види забруднень навколишнього середовища, які створює автомобільний транспорт.
2. Причини виникнення інгредієнтного забруднення навколишнього середовища від автомобільного транспорту.

1. Види забруднень навколишнього середовища, які створює автомобільний транспорт.

Автомобільний транспорт викликає інгредієнтне та параметричне забруднення навколишнього середовища.

Інгредієнтне забруднення обумовлено надходженням в атмосферне повітря, ґрунти, поверхневі та підземні води хімічних речовин та сполук, яких раніше там або взагалі не було, або вони були у значно меншій кількості. Інгредієнтне забруднення завжди викликає зміну концентрації (як правило, у бік збільшення) певних хімічних речовин у середовищі, куди ці речовини потрапляють.

Параметричне забруднення – це зміна природних параметрів стану навколишнього середовища (температури, рівня шуму, вібрації та електромагнітного випромінювання) без зміни його хімічного складу.

Основні причини інгредієнтного забруднення навколишнього середовища – викиди продуктів згоряння палива, які містять понад чотирьохсот різноманітних хімічних речовин, серед яких є багато таких, що шкідливі для людини, фауни та флори. Крім того, інгредієнтне забруднення створюють продукти зношування дорожнього покриття та шин, викиди від технологічного устаткування різноманітних автотранспортних підприємств, звалища старих автомобілів, стічні води.

З усіх видів забруднення найбільш небезпечним вважають інгредієнтне забруднення повітря. Воно швидко розповсюджується та безпосередньо впливає на людину і довкілля. Небезпечним є також інгредієнтне забруднення ґрунту та вод.

Параметричні види забруднення впливають на екологічний стан через деякий час, і їх вплив має поступовий характер. Тому задача охорони довкілля має розв'язуватися комплексно: треба вирішувати найбільш гострі проблеми сьогодення і не забувати про негативні чинники, які накопичуються і проявляються через деякий час, коли вже пізно буде з ними боротися.

Тривала дія шумового забруднення викликає зміни психологічного стану людини, підвищену втомленість, зменшення працездатності. Шумове забруднення викликає зміну природного балансу видів у тваринному світі. Корисні тварини та птахи залишають зони шумового забруднення поблизу автомобільних доріг, а на їх місці з'являються шкідливі види комах та гризунів.

Такий самий вплив чинить і вібраційне забруднення, яке передається від доріг та інженерних споруд на великі відстані. Крім того, вібраційне забруднення викликає руйнування доріг, будівель поблизу доріг та дорожніх інженерних споруд.

Електромагнітне забруднення від автомобільного транспорту може бути викликано роботою різноманітних електричних систем та приладів сучасного автомобіля. Сьогодні проблема електромагнітного забруднення є практично розв'язаною.

Найменш наочним, таким, що є невидимим, не проявляється одразу і не привертає до себе уваги пересічних людей, є теплове забруднення. Але воно є однією з найбільш небезпечних загроз для цивілізації в цілому.

Уся хімічна енергія палива, використаного у тепловому двигуні, після низки перетворень потрапляє у вигляді теплоти у навколишнє середовище, що викликає його теплове забруднення.

Теплове забруднення від автомобільного транспорту є лише часткою загального теплового забруднення, викликаного виробничою діяльністю людства. Теплове забруднення призводить до підвищення температури атмосфери, що спричиняє глобальні зміни клімату планети, наслідки яких важко передбачити.

Відповідно до другого закону термодинаміки принципово неможливо повністю перетворити теплоту, яка отримана від гарячого джерела (це теплота, що виділяється при згорянні палива), на механічну роботу. Деяка частка теплоти обов'язково має бути відведена у холодне джерело (навколишнє середовище). Найкращі теплові

двигуни на режимі максимальної економічності перетворюють на корисну роботу не більше 45 % теплоти згоряння палива, а з урахуванням того, що автомобільні двигуни працюють переважно на змінних режимах, ця цифра зменшується до 10 – 20 %.

Повністю виключити теплове забруднення, викликане антропогенними чинниками, неможливо. Єдиним способом зменшення темпів теплового забруднення атмосфери на автомобільному транспорті є зменшення загальної витрати палива шляхом підвищення ефективності використання теплоти згоряння палива на одиницю транспортної роботи.

Основним типом сучасного автомобільного двигуна є поршневий двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ). Підраховано, що з моменту розробки першого ДВЗ і дотепер у світі було створено понад 500 тис. різних моделей двигунів цього типу.

Причина переважного використання поршневих ДВЗ у складі силових установок наземних транспортних машин полягає в органічному поєднанні таких властивостей, як висока паливна економічність (високий ККД), можливість отримання агрегатної потужності від кількох ват до кількох тисяч кіловат, достатньо висока питома потужність (відношення потужності до робочого об'єму циліндрів у сучасних форсованих двигунів досягає 70 кВт/л), пристосованість до різноманітних умов експлуатації.

Поршневі ДВЗ працюють на рідкому паливі та на газі. Найчастіше сировиною для виготовлення палива є нафта, газовий конденсат, нафтовий та природний газ. Сьогодні йде пошук альтернативних видів палива ненафтового походження, відпрацьовуються методи їх зберігання на борту автомобіля та використання у двигуні.

Основною причиною інгредієнтного забруднення повітря при експлуатації автомобілів є те, що у відпрацьованих газах автомобільних двигунів містяться понад 400 різних хімічних сполук, значна частка яких є шкідливими (токсичними, канцерогенними, мутагенними). Вважають, що саме шкідливі речовини, які містяться у відпрацьованих газах, є головною причиною екологічної небезпеки автомобілів.

Крім того, при експлуатації автомобілів в атмосферу може потрапляти пара вуглеводнів (унаслідок випаровування з паливних баків і карбюраторів, при заправленні, проливанні палива на землю

та асфальт, при митті деталей в органічних розчинниках, при пошкодженні паливних систем газових двигунів).

В атмосферу та у ґрунт потрапляють також продукти зношування дорожнього покриття та автомобільних шин.

Утворення переважної більшості шкідливих речовин, які потім викидаються у повітря разом із відпрацьованими газами, відбувається в основному у циліндрі ДВЗ або у камерах згоряння двигунів інших типів (про ці двигуни докладніше див. у п. 9) у процесах згоряння палива. Інколи внаслідок порушення процесів згоряння, поганого технічного стану двигуна, недосконалої організації робочих процесів шкідливі речовини можуть утворюватись у випускній системі двигуна.

Відпрацьовані гази теплових двигунів, зокрема відпрацьовані гази ДВЗ, можуть складатись з таких речовин:

- азот ( $N_2$ );
- кисень ( $O_2$ );
- водяна пара ( $H_2O$ );
- діоксид вуглецю або вуглекислий газ ( $CO_2$ );
- аргон (Ar);
- оксид вуглецю або чадний газ (CO);
- діоксид сірки ( $SO_2$ );
- сірководень ( $H_2S$ );
- водень ( $H_2$ );
- оксиди азоту ( $N_2O$ , NO,  $N_2O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_4$ ,  $N_2O_5$ ; загальне умовне позначення цієї групи речовин –  $NO_x$ );
- альдегіди, зокрема: формальдегід ( $HCHO$ ), акролеїн ( $CH_2=CH-CHO$ ), оцтовий альдегід ( $CH_3-CHO$ ). Загальне умовне позначення альдегідів – RCHO;
- неканцерогенні вуглеводні: алкани ( $C_nH_{2n+1}$ ), алкени ( $C_nH_{2n}$ ), циклани ( $C_nH_{2n}$ ), алкіни ( $C_nH_{2n-2}$ ), ароматики ( $C_nH_{2n-6}$ );
- різноманітні канцерогенні вуглеводні (індикатором наявності канцерогенних вуглеводнів прийнято вважати бенз(альфа)пірен ( $C_{20}H_{12}$ );
- тверді частинки (орієнтовно склад частинок такий: сажа – до 25 %, оксиди металів – до 65 %, різноманітні аерозолі палива і мастил – до 10 %).

Концентрація конкретних речовин у відпрацьованих газах теплових двигунів залежить від таких факторів:

- тип двигуна (ДВЗ, газотурбінний, із зовнішнім підведенням теплоти);
- кількість циліндрів (якщо це поршневий ДВЗ), номінальна потужність, наявність наддування тощо;
- технічний стан двигуна та автомобіля у цілому;
- режим роботи двигуна;
- регулювання систем двигуна (живлення, запалювання, охолодження, змащування, наддування);
- властивості палива;
- наявність або відсутність нейтралізаторів;
- параметри навколишнього середовища.
- У деяких випадках окремі речовини можуть бути у таких малих концентраціях, що ними можна знехтувати.

Азот, кисень, водяна пара, діоксид вуглецю та аргон є не шкідливими для людини. Саме ці речовини складають основну масу відпрацьованих газів.

Діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) хоча і не токсичний для людини, але вважається, що саме він є одним із основних газів, які викликають парниковий ефект на планеті. Відповідно до «Протоколу про спільні зусилля щодо зниження емісії парникових газів в атмосферу», підписаному у м. Кіото (Японія) у 1997 р., більшість країн світу, зокрема Україна, зобов'язалися вжити конкретні заходи для зменшення загальних викидів парникових газів в атмосферу до 2010 р. у порівнянні з 1990 р. у середньому на 5,2 %.

Усі інші речовини є шкідливими (токсичними, канцерогенними, мутагенними).

Для шкідливих речовин встановлено чотири класи небезпеки:

- 1) надзвичайно небезпечні (бенз( $\alpha$ )пірен, сполуки свинцю);
- 2) високонебезпечні (формальдегід, діоксид азоту);
- 3) помірно небезпечні (сажа, діоксид сірки, оксид азоту);
- 4) малонебезпечні (оксид вуглецю, аміак).

Для більшості відомих шкідливих речовин встановлені значення гранично-допустимої концентрації (ГДК) у повітрі. Розрізняють наступні види ГДК: максимально-разову  $[\text{ГДК}]_{\text{МР}}$  та середню за добу  $[\text{ГДК}]_{\text{СД}}$ .

Максимально-разова  $[ГДК]_{MP}$  – це така концентрація, яка ще не викликає у людини протягом 30 хвилин рефлекторних реакцій (сльози, кашель тощо).

Середня за добу  $[ГДК]_{CD}$  – це така концентрація, нижче якої тривале перебування (роками) людини у зоні дії даної речовини не спричиняє хвороб.

Крім того, для промислових підприємств установлюють гранично-допустимі концентрації робочої зони  $[ГДК]_{PЗ}$ .

Усі гранично-допустимі концентрації визначаються на рівні органів дихання людини.

Характер впливу деяких шкідливих речовин на людину та довкілля, а також гранично-допустимі концентрації цих речовин у повітрі наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Ступінь небезпеки деяких токсичних речовин для людини і довкілля

Речовина, її хімічна формула або умовне позначення	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Відносна шкідливість
	$[ГДК]_{MP}$	$[ГДК]_{CD}$	
Оксид вуглецю (CO)	5,000	3,000	1
Вуглеводні Неканцерогенні (CH)	5,000	1,500	2
Тверді частинки (пил, зола, аерозолі)	0,500	0,150	20
Оксид азоту (NO)	0,400	0,060	50
Діоксид сірки (SO <sub>2</sub> )	0,500	0,050	60
Діоксид азоту (NO <sub>2</sub> )	0,085	0,040	75
Формальдегід (HCHO)	0,035	0,003	1000
Свинець (Pb)	–	0,0003	10000
Бенз(α)пірен (C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> )	–	0,000001	3000000



Різні речовини мають різні ГДК. Це означає, що їх ступінь небезпеки (шкідливості) є різним. Прийнято оцінювати рівень шкідливості речовини шляхом визначення, у скільки разів середня за добу ГДК оксиду вуглецю перевищує середню за добу ГДК даної речовини, тобто шляхом визначення відносної шкідливості  $A_i$  речовини  $i$  за формулою

$$A_i = \frac{[\text{ГДК}_{\text{CO}}]_{\text{СД}}}{[\text{ГДК}_i]_{\text{СД}}} \quad (2.1)$$

Таким чином, вплив СО на людину прийнято за еталон шкідливого впливу, і тому відносна шкідливість СО дорівнює одиниці.

Значення відносної шкідливості деяких токсичних речовин наведені у таблиці 2.1.

Вплив токсичних речовин, що були перелічені в таблиці 2.1, на здоров'я людини полягає в наступному.

Оксид вуглецю (СО) – викликає зменшення рівня гемоглобіну в крові. Оксид вуглецю зв'язується з гемоглобіном набагато швидше, ніж кисень. До того ж, цей зв'язок є довготривалим. Завдяки цьому кров втрачає здатність переносити кисень, і виникає киснева недостатність: людина фактично «задихається».

Неканцерогенні вуглеводні (СН) – вплив на організм неканцерогенних вуглеводнів виражається в порушеннях функціонального стану центральної нервової системи. Більш за все страждає вища нервова діяльність, що пов'язане з наркотичною дією вуглеводнів. Навіть у дуже низьких концентраціях дія вуглеводнів призводить до функціональних розладів нервової системи, неврастенії, вегетоневрозам, запальності й дратівливості – аж до сильного запаморочення при різких рухах головою. Вуглеводні, що викидаються у повітря при роботі автотранспорту на стиснутому природному газі або зрідженому нафтовому газі, викликають загальну слабкість, головні болі, рідше – відчуття шуму в голові.

Тверді частинки (пил, зола, аерозолі) – викликають подразнення та хвороби органів дихання. До того ж, деякі різновиди твердих частинок вбирають в себе високотоксичні речовини. Наприклад, сажа абсорбує на своїй поверхні канцерогенні вуглеводні.

Оксид азоту (NO) – викликає зменшення рівня гемоглобіну в крові. В цьому плані дія NO схожа з дією CO. До того ж, через деякий час після попадання в повітря NO перетворюється в NO<sub>2</sub> – бурий, із характерним неприємним запахом газ. Діоксид азоту NO<sub>2</sub> сильно дратує слизові оболонки дихальних шляхів. Ця речовина викликає сенсорні, функціональні й патологічні ефекти: почуття сухості та першіння в горлі, послаблення нічного зору, підвищення опору дихальних шляхів (збільшення зусиль, затрачених на подих), хвороби дихальних шляхів. Потрапляючи в організм людини, NO<sub>2</sub> при контакті із слизовою оболонкою утворює азотисту та азотну кислоти, які роз'їдають стінки альвеол легенів. При цьому стінки альвеол і кровоносних капілярів стають настільки проникними, що пропускають сироватку крові в порожнину легенів. У цій рідині розчиняється вдихуване повітря, образує піну, що перешкоджає подальшому газообміну і визиває набряк легенів.

Діоксид сірки (SO<sub>2</sub>) – викликає подразнення та захворювання дихальних шляхів. При зіткненні з вологою поверхнею слизових оболонок верхніх дихальних шляхів SO<sub>2</sub> утворює нестабільну сірчисту кислоту, що окисляється до сірчаної, що й визначає первинний характер токсичної дії цієї речовини. Дратівна дія SO<sub>2</sub> на слизові оболонки приводить до розвитку хронічних ринітів, запаленням слухового проходу, хронічним бронхітам з астматичними компонентами. При високих концентраціях сірчистий ангідрид викликає роздратування слизових оболонок очей, у рідких випадках навіть втрату свідомості. При тривалому впливі в малих концентраціях спостерігаються зміни з боку органів травлення, мають місце функціональні порушення щитовидної залози.

Формальдегід (НСНО) – викликає подразнення та захворювання дихальних шляхів, очей, репродуктивні органи, шкіряні покрови. Сильно вражає центральну нервову систему. Негативно впливає на генетичний матеріал: досліді на тваринах показали, що формальдегід підсилює канцерогенний ефект бенз(α)пірену.

Свинець (Pb) – небезпека свинцю для людини визначається його значною токсичністю і здатністю накопичуватися в організмі. Він є високотоксичним для нервових тканин, викликаючи зниження швидкості передачі нервового збудження, порушення постачання кисню до мозку.

Свинцеві отруєння досить різні в проявах і включають психічне збудження, тривогу, нічні кошмари, галюцинації, порушення пам'яті та інтелекту, аж до розпаду особистості. У дітей свинець викликає гіперактивність, погіршення показників психічного розвитку, зниження працездатності, здатності до навчання. Отруєння свинцем і його з'єднаннями викликають поразку ясен, розлад кишечника, захворювання нирок. З'єднання свинцю можуть вражати генетичний апарат і викликати мутації. Для жінок свинець становить особливу небезпеку, тому що цей елемент має здатність проникати через плаценту в ненароджену дитину та накопичуватися в грудному молоці.

Бенз( $\alpha$ )пірен ( $C_{20}H_{12}$ ) – викликає рак легенів та шкіри, а також пошкоджує генетичний апарат, викликаючи мутації, що передаються у спадок дітям.

Ступінь небезпечності шкідливої речовини, яка є у повітрі, визначають як відношення її дійсної концентрації  $C_i$  на рівні органів дихання до її середньодобової ГДК. Це відношення називають токсичною кратністю  $k_i$  речовини  $i$ .

У разі наявності одночасно у повітрі кількох шкідливих речовин, які односпрямовано впливають на людину, відбувається взаємне підсилення їх впливу. Цей ефект ураховують шляхом визначення суми токсичних кратностей речовин у повітрі.

Повітря вважається придатним для дихання, якщо сума токсичних кратностей усіх  $n$  шкідливих речовин, які в ньому містяться, не буде перевищувати одиницю, тобто

$$\sum_1^n k_i = \sum_1^n \frac{C_i}{[ГДК_i]_{СД}} \leq 1. \quad (2.2)$$

Джерелами забруднення водних і земельних ресурсів, безпосередньо пов'язаними з експлуатацією автомобільного транспорту, є бази та склади паливно-мастильних матеріалів (ПММ), пункти заправлення ПММ, автопарки (парки техніки), ремонтно-поновлювальні бази, авторемонтні заводи, підприємства та виробничо-технологічні майстерні (ділянки, цехи) тощо.

Дощові (талі) стічні води забруднюються сміттям, різноманітними відходами, у тому числі нафтопродуктами та іншими хімічними (токсичними) речовинами.

Найбільш забруднені зливові стічні води потрапляють з територій автопарків, пунктів заправлення, складів і баз ПММ, майданчиків ремонту та обслуговування техніки, тобто з об'єктів, на яких може відбуватись забруднення ґрунту нафтопродуктами.

В автопарках при обслуговуванні та ремонті акумуляторів проводять заміну електроліту (розчину сірчаної кислоти або лугу) і свинцевих пластин (а також зчищення нальоту солей важких металів), внаслідок чого утворюються стічні води, що мають у своєму складі кислоти (луги) та свинець. При зливанні цих стічних вод без нейтралізації забруднюється навколишнє середовище, оскільки сірчана кислота викликає хімічні опіки, руйнує матеріали органічного походження, бетон, метал тощо, а коли потрапляє у ґрунт, то вбиває мікроорганізми та пошкоджує кореневу систему рослин. У результаті скидів кислотних стоків у водойми зменшується рівень рН середовища. Це призводить до пригнічення мікроорганізмів, загибелі водної рослинності, порушення процесу самоочищення води.

При надходженні стічних вод, що містять кислоту, у комунальні побутові очисні споруди порушуються процеси бродіння (гниття) осадів у відстійниках і біохімічного окислення забруднень в аеротенках. Тому всі відходи електроліту та інших кислот (усі кислі стічні води, що утворилися) мають бути нейтралізовані при їх скиданні у каналізацію, на поверхню землі або в ями.

Критерієм забруднення води є погіршення її якості внаслідок зміни органолептичних властивостей і утворення (надходження) шкідливих речовин для людини, тваринного та рослинного світу залежно від виду водокористування, а також підвищення температури води, зміни умов для нормальної життєдіяльності водних організмів.

Залежно від призначення водоймищ «Правила охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» встановлюють для них різні ГДК шкідливих речовин. На сьогодні кількість встановлених ГДК перевищує 600. ГДК деяких речовин у воді водоймищ санітарно-побутового водокористування наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Гранично-допустимі концентрації деяких речовин у воді

Речовина	ГДК, мг/л
Тетраетилсвинець	0,0000
Залізо	0,5000
Анілін	0,1000
Свинець	0,1000
Мідь, цинк, нікель	0,1000
Фенол	0,0010
Ртуть	0,0005
Нафта сірчана	0,1000
Нафта інша	0,3000

Одного універсального рішення, панацеї від усіх екологічних проблем не існує. Основні напрямки робіт, реалізація яких дозволяє зменшити негативний вплив автотранспортного комплексу на екологічний стан країни або окремого регіону, такі:

- удосконалення конструкції автомобілів (силових установок, ходової частини, трансмісії, шин, кузовів, нейтралізаторів відпрацьованих газів, систем комп'ютерного керування);
- використання палива, яке забезпечує зменшення рівнів шкідливих викидів;
- удосконалення технічної експлуатації автомобілів та розвиток матеріальної бази АТП (діагностики, ремонтної бази, технічного стану, контролю якості ремонту);
- розвиток мережі сучасних доріг (таких, що забезпечать швидкість, безпечність, мінімальну витрату палива на одиницю роботи, мінімальне забруднення населених пунктів);
- оптимізація автомобільних перевезень (маршрутизація, повне завантаження автомобілів);
- оптимальна організація дорожнього руху.

Реалізація заходів щодо кожного з цих напрямків дозволяє суттєво покращити техніко-економічні та екологічні показники автомобільного транспорту.

### **Контрольні запитання**

1. Які види забруднень створює автомобільний транспорт?
2. До якого виду забруднень відноситься шумове забруднення?
3. Як можна зменшити теплове забруднення, що створюється автомобільним транспортом?
4. З яких компонентів складаються відпрацьовані гази ДВЗ?
5. Які види ГДК існують? Дайте визначення кожному з видів ГДК.
6. Наведіть основні напрямки робіт, реалізація яких дозволяє зменшити негативний вплив автотранспортного комплексу на екологічний стан навколишнього середовища.

# ТЕМА «ПРОЦЕСИ УТВОРЕННЯ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ»

## Лекція 3

1. Процеси, в яких відбувається утворення шкідливих речовин. Горіння палива. Речовини, що утворюються у процесі згоряння органічного палива.
2. Умови утворення шкідливих речовин, що містять вуглець.
3. Тверді частинки.
4. Умови утворення канцерогенних вуглеводнів.
5. Умови утворення оксидів азоту.
6. Причини наявності сірки в продуктах згоряння.
7. Причини наявності сполук свинцю в продуктах згоряння.
8. Тверді частинки.

### 1. Процеси, в яких відбувається утворення шкідливих речовин.

Основна кількість шкідливих речовин, які викликають інгредієнтне забруднення повітря, утворюється у процесі горіння палива в циліндрах ДВЗ або в камерах згоряння теплових двигунів інших типів (газотурбінних, двигунів із зовнішнім підведенням теплоти та ін.).

У разі порушень нормальної течії процесу горіння можливе утворення шкідливих речовин у випускній системі.

Основу процесу горіння складають реакції окиснення горючих речовин палива, у яких вихідні речовини перетворюються у нові речовини з іншими фізичними і хімічними властивостями, що називаються продуктами згоряння.

Горіння палива – це активний окисний процес, який супроводжується інтенсивним виділенням теплоти при високих температурах.

Як правило, до складу горючої маси палива входять вуглець С, водень Н, сірка S. Крім того, до складу елементної маси палива можуть входити у незначній кількості негорючі елементи, зокрема азот N та кисень O. Процес згоряння полягає в окисненні горючих

складових маси палива з утворенням продуктів повного та неповного згоряння.

При повному згорянні утворюються  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ .

Реальне горіння, як правило, є неповним. Розрізняють механічну і хімічну неповноту горіння. У першому випадку деяка кількість палива у процесі горіння участі не бере.

Хімічна неповнота горіння виникає у випадку неповного окиснення вуглеводнів з утворенням оксиду вуглецю  $\text{CO}$ , сажі  $\text{C}$ , водню  $\text{H}_2$ , вуглеводнів  $\text{CH}_x$ , альдегідів  $\text{RCHO}$  тощо.

Як окисник при горінні палива у теплових двигунах використовують переважно кисень атмосферного повітря, що обумовлено його доступністю і простотою використання.

Крім продуктів повного та неповного згоряння вуглеводневого палива під час горіння в зоні високих температур можуть відбуватися реакції між киснем та азотом повітря з утворенням оксидів азоту.

Горіння – це такий фізико-хімічний процес, що складається з низки послідовних і паралельних фізичних і хімічних стадій. Для проходження хімічної реакції необхідно забезпечити фізичний контакт між молекулами взаємодіючих речовин і довести молекули до такого стану, при якому стають можливими хімічні реакції між ними.

Перше здійснюється у процесі утворення паливоповітряної суміші, друге – при її запалюванні.

Процес горіння газоподібного палива у реальних технічних пристроях (пальниках, камерах згоряння) можна умовно поділити на дві стадії:

- утворення пальної суміші (суміші палива і повітря);
- нагрівання, запалювання і горіння пальної суміші.

Стадії горіння рідкого палива в циліндрі ДВЗ або в камері згоряння двигуна із зовнішнім підведенням теплоти такі:

- розпилювання палива у повітрі;
- нагрівання та випаровування краплин палива;
- змішування пари палива з повітрям;
- нагрівання, запалювання і горіння суміші пари палива з повітрям.



Під швидкістю процесу горіння розуміють зміну кількості одного з компонентів хімічної реакції за одиницю часу в одиниці об'єму.

Швидкість хімічної реакції визначають за формулою

$$\omega = k \cdot C_A^m \cdot C_B^n, \quad (3.1)$$

де  $k$  – константа швидкості реакції, що залежить від температури і хімічної природи реагуючих речовин;  $C$  – відповідні поточні концентрації реагуючих речовин  $A$  і  $B$  у суміші;  $m$  і  $n$  – кількість молів реагуючих речовин.

У свою чергу  $k$  значною мірою залежить від температури процесу. Ця залежність виражається законом Арреніуса

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{\mu RT}\right), \quad (3.2)$$

де  $k_0$  – множник;  $E$  – енергія активації;  $\mu R$  – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура процесу.

До реагування здатні так звані активні молекули, що мають енергію, достатню для руйнування молекулярних зв'язків вихідних речовин. Цей рівень енергій називають енергією активації  $E$ . Чим вище рівень енергії активації, тим важче відбувається руйнування вихідних молекул і повільнішою є швидкість реакції.

Кількість активних молекул різко збільшується з підвищенням температури. Енергія активації залежить не тільки від внутрішньо-атомних зв'язків у молекулі, але й від того, з якою речовиною (у якому стані) відбувається реакція. При контакті, наприклад, молекули пальної речовини з частинкою, що несе заряд (має вільні валентні зв'язки типу ОН, Н, О), енергія активації істотно знижується, а швидкість реагування зростає.

У реальних умовах швидкість витрати пальних речовин залежить не тільки від швидкості проходження хімічної реакції, але й від швидкості процесу сумішоутворення, визначальним фактором якої є інтенсивність проходження турбулентної і молекулярної дифузії. Результуюча швидкість реакції залежить від швидкості найбільш повільного процесу.

Швидкість проходження хімічних реакцій між молекулами палива й окисника із збільшенням температури прогресивно зростає. Разом з тим швидкість сумішоутворення, обумовлена процесами турбулентної і молекулярної дифузії в об'ємі газу, від температури практично не залежить.

Є нижня і верхня межі концентрації палива у паливо повітряній суміші, поза якими горіння стає неможливим. В усьому діапазоні концентрацій між цими межами при внесенні у пальну суміш джерела запалювання буде відбуватися стійке горіння.

Температура пальної суміші, починаючи з якої виникає самостійне прискорення хімічної реакції, називається температурою запалювання.

Експериментально встановлено, що швидкості проходження реакцій відрізняються від розрахункових значень, отриманих із застосуванням закону Арреніуса. У дійсності реакції в речовинах, що перебувають у газовому стані, частіше проходять не між вихідними молекулами, а через низку проміжних стадій, у яких разом із молекулами беруть участь активні уламки молекул – радикали та атоми, що мають вільні зв'язки (H, OH, O, CH та ін.). При цьому перехід від вихідних речовин до кінцевих продуктів відбувається через низку проміжних реакцій, що проходять з великою швидкістю, тому що вони мають низьку енергію активації. Такі реакції називаються ланцюговими.

При горінні газів відбуваються розгалужені реакції, у процесі яких один активний центр породжує два чи більше нових активних центри.

За розробку теорії ланцюгових розгалужених реакцій її авторам М.М. Семенову і С. Хіншельвуду у 1956 р. було присуджено Нобелівську премію.

Горіння палива відбувається за розгалуженими ланцюговими реакціями.

Як приклад ланцюгової реакції можна навести схему згоряння водню. Активними проміжними речовинами в цьому випадку є атомарний водень, кисень та гідроксильна група.

Наразі вважають, що окиснення водню починається з реакції термічної дисоціації молекули водню з утворенням двох атомів:



Далі відбувається серія реакцій, які можна ілюструвати схемою, наведеною на рис. 3.1.

У результаті замість одного радикала водню утворюється три нових, кожен із яких здатний після циклу аналогічних реакцій породжувати дві молекули кінцевого продукту (води) та три нових активних радикали водню.

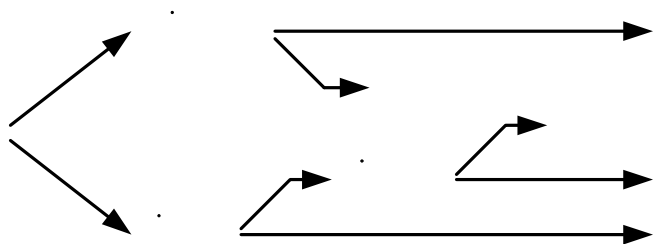


Рисунок 3.1 – Схема ланцюгової реакції окиснення водню

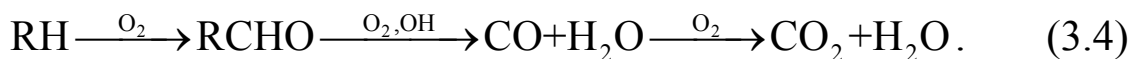
## 2. Умови утворення шкідливих речовин, що містять вуглець.

Забруднення повітря неканцерогенними вуглеводнями (а це сотні різноманітних сполук) виникає внаслідок двох причин.

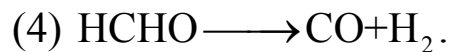
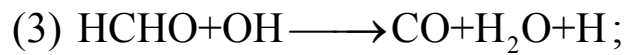
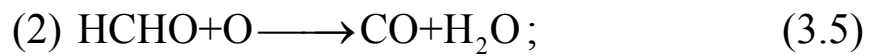
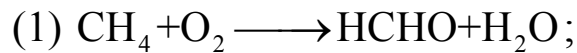
Перша – це випаровування палива з системи живлення автомобілів (паливних баків, карбюраторів), випаровування палива при заправленні.

Друга причина – неповне згоряння палива в циліндрі, коли частина вуглеводнів унаслідок недоліків сумішоутворення (глибокий дефіцит кисню, розшарування заряду підпалювання палива з форсунки після закінчення основного процесу впорскування, впорскування під малим тиском) або порушень горіння (детонація) взагалі не бере участі у процесі згоряння і викидається у випускную систему разом з відпрацьованими газами.

Загальний механізм утворення у відпрацьованих газах основних речовин, що містять вуглець, можна подати у такому вигляді



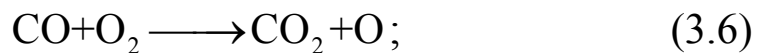
Пояснити це можливо на прикладі спалювання метану:



Причиною появи продуктів неповного згоряння (оксиду вуглецю та альдегідів) є припинення ланцюгових реакцій на проміжній стадії, до завершення процесу утворення продуктів повного згоряння. Це може бути викликано дефіцитом кисню або низькою температурою газу. Останнє спостерігається поблизу відносно холодних стінок циліндра двигуна.

З альдегідів найбільш істотна частка у загальній токсичності належить формальдегіду (НСНО), що є газом з різким неприємним запахом.

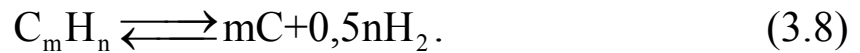
Догоряння СО до СО<sub>2</sub> відбувається за реакціями



### 3. Тверді частинки

Механізм утворення сажі – це об’ємний процес термічного розкладання (піролізу) вуглеводнів у газовій фазі в умовах сильного дефіциту кисню. Дефіцит кисню може бути у межах циліндра загальним та локальним. Загальний, але не дуже глибокий дефіцит кисню виникає при роботі двигунів із примусовим запалюванням (карбюраторних, інжекторних, газових) на режимах холодного пуску, холостого ходу, розгону, максимальної потужності. Тому в цих двигунах утворення сажі є незначним.

Найчастіше виникає глибокий локальний дефіцит кисню в окремих місцях (зонах) камери згоряння дизелів. Це викликає процес утворення сажі, який умовно можна описати формулою



Кінетика процесу утворення сажі залежить від структури і кількості атомів вуглецю у молекулах вуглеводнів. Найбільший вихід сажі спостерігається при горінні ароматичних вуглеводнів. Утворення сажі відбувається також в умовах детонаційного згоряння бензинів, коли ударна хвиля, що рухається в циліндрі, гасить горіння у фронті полум'я.

Сажа входить до складу так званих «твердих частинок», які містяться у відпрацьованих газах двигунів.

#### 4. Умови утворення канцерогенних вуглеводнів

При відносно низьких температурах (а такі температури спостерігаються поблизу стінок циліндра) в ароматичних вуглеводнях переважають реакції полімеризації і конденсації, у яких легко можуть утворитися канцерогенні речовини.

Незважаючи на різноманіття канцерогенних речовин, які утворюються при згорянні палива (на цей час їх ідентифіковано понад 400), фахівцями виділена пріоритетна група поліциклічних ароматичних вуглеводнів, що містить 12 компонентів з різними індексами канцерогенної активності (ІКА), серед яких бенз( $\alpha$ )пірен ( $C_{20}H_{12}$ ) є найбільш активним і стійким. Структурну схему молекули бенз( $\alpha$ )пірену наведено на рис. 3.2.

Бенз( $\alpha$ )пірен (БП) за нормальних умов має вигляд голчастих кристалів жовтого кольору. Його молекулярна маса – 252 кг/кмоль, температура плавлення – 452 К, температура кипіння – 510 К. При температурі нижче точки кипіння БП осідає у вигляді краплин рідини, а при подальшому охолодженні – у вигляді твердих частинок на поверхні твердих тіл. Особливо легко БП адсорбується на сажі, яка утворюється в камері згоряння двигуна, і тому сажові частинки є небезпечними для людини.

Пріоритетна група канцерогенних речовин така.

1. Бенз( $\alpha$ )пірен – індикатор наявності канцерогенних вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів та у повітрі (ІКА = 1).

2. Бенз( $\alpha$ )флуорантен (ІКА = 0,1).

3. Бенз( $\alpha$ )антрацен, хризен, бенз(g, h, i)перілен (ІКА = 0,01).
4. Флуорантен, пірен, бенз( $\epsilon$ )пірен, перілен, інденопірен, бенз(a, h)антрацен, коронен (ІКА < 0,01).

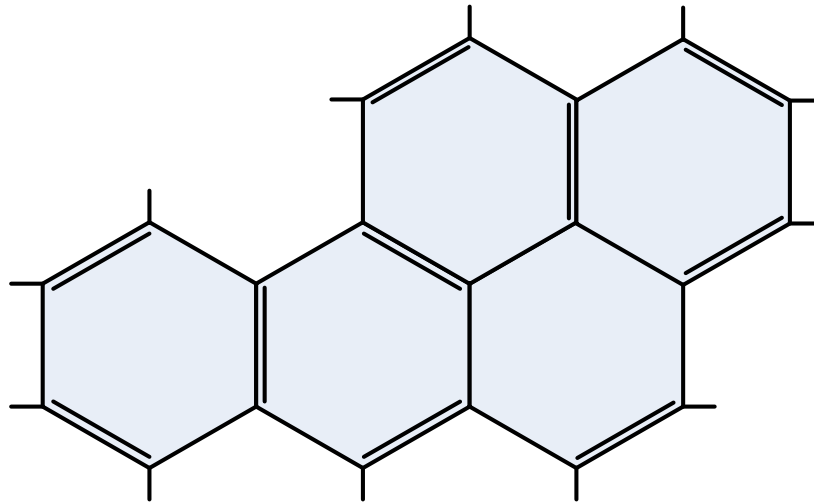


Рисунок 3.2 – Схема будови молекули бенз(a)пірену

### 5. Умови утворення оксидів азоту

Оксиди азоту при згорянні палива у теплових двигунах можуть утворюватися за трьома механізмами.

Перший – це безпосереднє окиснення азоту повітря киснем повітря. Оксиди азоту, які утворюються таким шляхом, називають термічними.

Другий механізм передбачає участь в утворенні оксидів азоту активних вуглеводневих радикалів (ціанів та амінів), які виникають при згорянні палива як проміжні продукти ланцюгових реакцій. Оксиди азоту, що утворюються за таким механізмом, називають «швидкими».

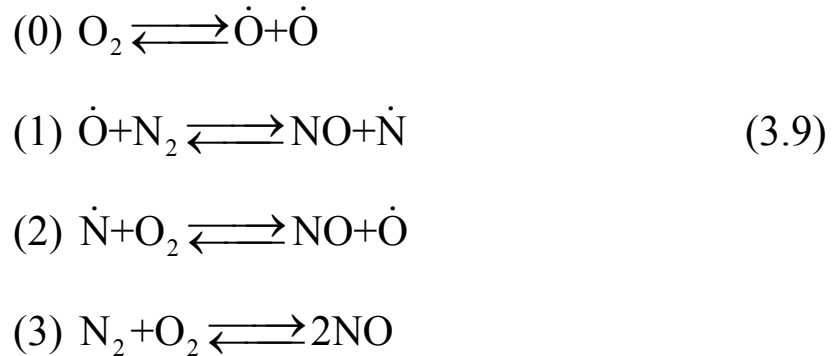
Третій механізм працює лише у випадку, коли до складу палива входять речовини, які містять азот. Тоді цей азот палива дає так звані «паливні» оксиди. Як правило, моторне паливо або взагалі не містить азоту, або кількість його настільки мала, що внесок паливного азоту у загальну емісію оксидів азоту можна не враховувати.

Атмосферне повітря містить багато різноманітних газів, але кількість більшості з них дуже мала. Тому у першому наближенні по-

вітря можна розглядати як суміш, що складається з 79 % азоту та 21 % кисню за об'ємом.

За звичайних атмосферних умов азот не вступає у реакції з киснем. Але при високих температурах (понад 2000 К), які виникають при згорянні палива у теплових двигунах, азот повітря стає здатним вступати у реакції з киснем і утворювати оксиди: NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Реакції окиснення азоту проходять за наступним механізмом



В реакції (0) системи реакцій (3.9) під дією високих температур відбувається дисоціація молекулярного кисню та утворюється атомарний кисень. Останній вступає в хімічну реакцію з молекулярним азотом, що ініціює хімічні реакції (1) і (2), які можуть підтримувати самі себе за ланцюговим механізмом. Можливою є також бімолекулярна реакція (3). Швидкості реакцій (2) і (3) малі, і вони дають незначний внесок у загальну кількість викидів NO.

Академік Я.Б. Зельдович для визначення швидкості реакції окиснювання азоту створив кінетичне рівняння

$$\frac{dNO}{d\tau} = \frac{5 \cdot 10^{11}}{\sqrt{[\text{O}_2]}} \cdot e^{-\frac{86000}{RT}} \cdot \left( [\text{O}_2] \cdot [\text{N}_2] \cdot \frac{64}{3} \cdot e^{-\frac{43000}{\mu RT}} - [\text{NO}]^2 \right), \tag{3.10}$$

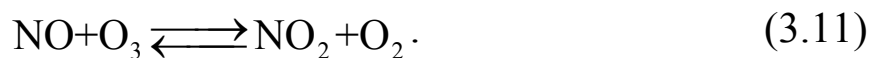
де [O<sub>2</sub>], [N<sub>2</sub>], [NO] – поточні концентрації компонентів газової суміші, гмоль/л; τ – час, с; Т – температура в зоні реакції, К; μR – універсальна газова стала.

Вихід NO визначається швидкостями його утворення і розкладання. Значного зниження рівнів утворення NO можна досягти скороченням часу перебування продуктів згоряння у зонах з максимальними температурами.

Визначити кількість оксиду азоту, що у будь-який момент часу знаходиться у циліндрі двигуна, можна шляхом інтегрування диференціального рівняння (3.10). Але це досить складна задача, оскільки треба знати миттєві поточні значення всіх параметрів, які входять до диференційного рівняння. У свою чергу, поточні параметри робочого тіла в циліндрі залежать від характеристики згоряння палива.

Основну кількість (до 95 %) усіх оксидів азоту, які утворюються в циліндрах ДВЗ при горінні палива, складає NO.

При потраплянні у повітря NO реагує з озоном атмосфери



Реакція (3.11) призводить до утворення ще більш шкідливого діоксиду азоту NO<sub>2</sub>.

В області відносно низьких температур продуктів згоряння ( $T < 1800 \text{ K}$ ) переважна частка у загальній кількості оксидів азоту припадає на механізм утворення "швидких оксидів". При температурах понад 2000 K основний внесок у загальну кількість оксидів азоту дає механізм утворення "термічних оксидів". При температурі від 1800 K до 2000 K обидва механізми роблять приблизно однаковий вклад в утворення оксидів азоту.

У циліндрі ДВЗ максимальна температура продуктів згоряння досягає 2700 K, тому найбільша кількість оксидів азоту припадає на «термічні оксиди».

У камерах згоряння газотурбінних двигунів та двигунів із зовнішнім підведенням теплоти основна частка оксидів азоту утворюється за механізмом «швидких оксидів».

## 6. Причини наявності сірки в продуктах згоряння

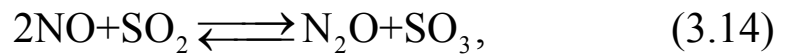
Сірка може міститися у складі палива. Найменший вміст сірки у природному газі (там її практично немає), у бензинах сірки може бути до 0,15 %, а у дизельному паливі – до 0,5 % за масою.

Основна кількість сірки, що міститься у паливі, згоряє до діоксиду сірки і у такому вигляді попадає в атмосферу





У циліндрі можуть також відбуватися реакції між діоксидом сірки та атомарним киснем, а також з оксидами азоту



Масовий викид в атмосферу діоксиду сірки (у тонах на рік) можна визначити за формулою

$$M = 0,02 \cdot S^p \cdot B \cdot (1 - \eta), \quad (3.16)$$

де  $S^p$  – вміст сірки у робочій масі палива, %;  $B$  – витрата палива, т/р.;  $\eta$  – ступінь нейтралізації оксидів сірки (якщо нейтралізація відсутня, то  $\eta=0$ ).

## 7. Причини наявності сполук свинцю в продуктах згорання.

Для підвищення октанового числа (ОЧ) бензинів (а ОЧ характеризує стійкості бензинів до детонаційного згорання) в них інколи додають антидетонаційні присадки. Найбільш ефективною з точки зору антидетонаційних властивостей і відносно дешевою присадкою є тетраетилсвинець –  $Pb(C_2H_5)_4$ .

Тetraетилсвинець у чистому вигляді не застосовують, оскільки у цьому випадку він дає відкладення оксиду свинцю на клапанах, свічках запалювання, поверхнях камер згорання. Для зменшення відкладень застосовують так звану етилову рідину – суміш тетраетилсвинцю зі сполуками хлору та бромю. При згоранні етилованих бензинів тетраетилсвинець перетворюється насамперед в оксид свинцю  $Pb_2O_5$ , а також у бромистий свинець, хлористий свинець, сульфати свинцю. Ці сполуки разом із відпрацьованими газами двигунів викидаються у повітря.

Сполуки свинцю не затримуються слизуватою оболонкою носа, проникають у легені, а далі – у кровоносну систему. Вони накопичуються в організмі людини і шкідливо діють на кровотворні органи. Виведення сполук свинцю з організму людини є дуже складним процесом, тому у більшості розвинених країн світу застосування етилованих бензинів заборонено.

## 8. Тверді частинки

Під твердими частинками (для їх позначення прийнято англійську аббревіатуру *PM* – *Particulate Matter*) розуміють тверду або рідку органічну або неорганічну масу, яка осідає на абсолютному фільтрі при проходженні крізь нього потоку відпрацьованих газів, розбавлених повітрям, при температурі  $25 \pm 3$  °C.

Абсолютним називають фільтр, який затримує *PM* розміром понад  $3 \cdot 10^{-4}$  мм з ефективністю 99 %. Цей фільтр виготовляють зі скляного волокна з тефлоновим покриттям.

*PM* поділяються на розчинні та нерозчинні.

Розчинні *PM* – це частинки, які можуть бути одержані лише шляхом адсорбції або конденсації. До складу розчинних *PM* входять переважно аерозолі палива та масла.

Нерозчинні *PM* складаються із сажі (твердого вуглецю), твердих оксидів сірки, оксидів металів, а також продуктів зношування деталей двигуна.

У відпрацьованих газах дизелів нерозчинних *PM* приблизно у десять разів більше, ніж розчинних.

## Контрольні запитання

1. Де утворюється основна кількість шкідливих речовин, що міститься у відпрацьованих газах двигуна?
2. Які причини спричиняють забруднення навколишнього середовища неканцерогенними вуглеводнями?
3. Внаслідок чого утворюється сажа в циліндрі двигуна?
4. При яких умовах в циліндрі двигуна утворюються канцерогенні вуглеводні? Яка з цих речовин є найбільш активною і стійкою?

5. Наведіть і опишіть механізми утворення оксидів азоту при згорянні палива в циліндрі двигуна.
6. Внаслідок чого у відпрацьованих газах ДВЗ з'являються сполуки свинцю?
7. Що таке тверді частинки? З яких речовин вони складаються?

# ТЕМА «ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ»

## Лекція 4

1. Показники, що характеризують рівень токсичності відпрацьованих газів двигунів.
2. Методи визначення концентрації оксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигунів.
3. Методи визначення концентрації вуглеводнів у відпрацьованих газах.
4. Визначення концентрації оксиду азоту у відпрацьованих газах.
5. Методи визначення концентрації канцерогенних вуглеводнів у відпрацьованих газах.
6. Визначення концентрації альдегідів у відпрацьованих газах.
7. Визначення димності відпрацьованих газів.
8. Прилади для вимірювання шуму.

1. Показники, що характеризують рівень токсичності відпрацьованих газів двигунів

Нормованими компонентами відпрацьованих газів автомобілів є оксид вуглецю  $CO$ , вуглеводні  $CH$ , оксиди азоту  $NO_x$ , тверді частинки  $PM$ . При випробуваннях двигунів, які проводять відповідно до діючих правил, безпосередньо вимірюють концентрації у відпрацьованих газах лише цих речовин.

Аналіз складу відпрацьованих газів ускладнюється наявністю у них пари води, дисперсних частинок сажі, з'єднань свинцю і фосфору, оксидів заліза та інших елементів, що входять до складу конструкційних матеріалів, палив і мастил. Крім того, автомобільному двигуну властивий великий діапазон відхилень токсичних характеристик в залежності від режиму роботи, індивідуальних особливостей і технічного стану.

## 2. Методи визначення концентрації оксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигунів.

Для визначення концентрації оксиду вуглецю (СО) у відпрацьованих газах двигунів застосовують метод інфрачервоної спектроскопії (ІЧС). Він базується на використанні явища селективності поглинання інфрачервоного випромінювання оксидом вуглецю в області довжин хвиль 4,7 мкм. ІЧС-аналізатори мають високу селективність, стабільність і надійність показів. Принципову схему ІЧС-аналізатора наведено на рис. 4.1.

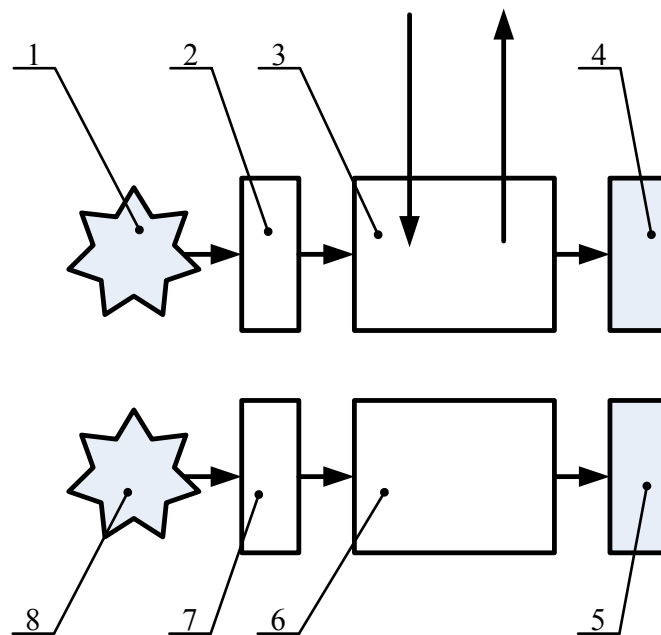


Рисунок 4.1 – Принципова схема ІЧС-аналізатора: 1, 8 – випромінювачі; 2, 7 – фільтри; 3 – вимірювальна кювета; 4, 5 – детектори випромінювання; 6 – порівняльна кювета

Випромінювачі 1 та 8 створюють два потоки інфрачервоного випромінювання, які спочатку проходять крізь фільтри 2 та 7, а далі – крізь кювети 3 та 6. Кювета 3 заповнена пробєю газу, в якій треба визначити концентрацію СО, а кювета 6 – еталонним газом. Чим більшою буде концентрація СО у вимірювальній кюветі 3, тим більша частка від початкового потоку енергії випромінювання буде в ній поглинатися, і тим більшою буде різниця у потоках випромінювання, які потрапляють на детектори 4 та 5. Різниця у сигналах детек-

торів випромінювання 4 та 5 є параметром, який залежить від концентрації CO у пробі газів. Калібрування ІЧС-аналізатора із застосуванням газів із відомою концентрацією CO дозволяє одержати шкалу приладу в об'ємних частках (відсотках).

### 3. Методи визначення концентрації вуглеводнів у відпрацьованих газах

Концентрацію вуглеводнів  $C_nH_m$  у відпрацьованих газах можна визначати за допомогою методу інфрачервоної спектроскопії. Звичайно ІЧС-аналізатори калібрують по н-гексану або пропану. Такі прилади для визначення концентрації вуглеводнів прості, але вони не дозволяють точно визначити концентрацію конкретних вуглеводнів у пробі. Окремі вуглеводні мають кожен свою смугу поглинання, тому результат вимірювань сильно залежить від складу суміші вуглеводнів у пробі газу.

Для більш точного визначення концентрації сумарних вуглеводнів у відпрацьованих газах широке застосування одержав метод полум'яно-іонізаційного детектування (ПІД). У ПІД-аналізаторах використовується ефект зміни електричного опору водневого полум'я при додаванні в нього вуглеводнів. Принципову схему ПІД-аналізатора наведено на рис. 4.2.

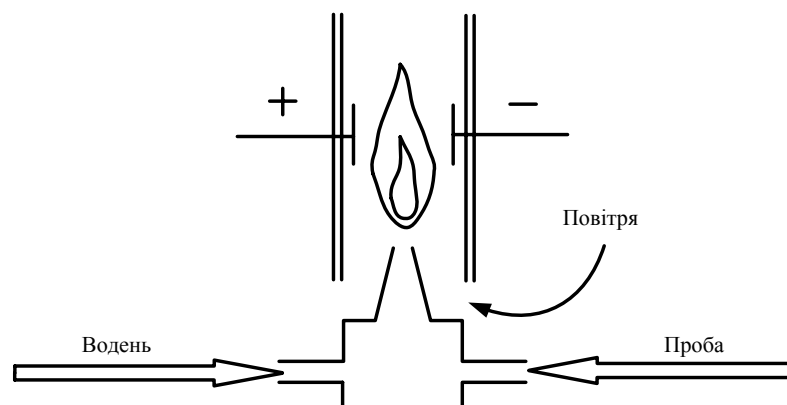


Рисунок 4.2 – Принципова схема ІЧС-аналізатора: 1, 8 – випромінювачі; 2, 7 – фільтри; 3 – вимірювальна кювета; 4, 5 – детектори випромінювання; 6 – порівняльна кювета

Полум'я хімічно чистого водню має великий електричний опір. При додаванні вуглеводнів у полум'я його електропровідність зростає пропорційно кількості доданих атомів вуглецю. Структура молекул вуглеводнів не впливає на вимірюваний ефект, як у ІЧС-аналізаторі, тому результати вимірювань, отримані методом ІЧС і ПІД, будуть різними.

#### 4. Визначення концентрації оксиду азоту у відпрацьованих газах

Для визначення концентрації оксидів азоту можна застосувати ІЧС-методи, а також хімічні методи, засновані на реакціях діоксиду азоту з деякими реактивами. ІЧС-аналізатори оксидів азоту портативні і прості в обслуговуванні, але мають обмежену селективність. Найбільшого поширення зараз отримали прилади, які використовують явище хемілюмінесценції. Принципову схему такого приладу наведено на рис. 4.3.

У аналізаторі, що використовує явище хемілюмінесценції, NO окислюють озonom ( $O_3$ ) у реакційній камері. При цьому утворюється збуджена молекула  $NO_2^*$ , яка виділяє при переході в стійкий стан енергію у вигляді кванта світла. Озон, необхідний для роботи приладу, отримують з кисню повітря. Чим більше буде молекул NO у пробі газу, тим більше за одиницю часу буде утворюватися квантів світла, і тим більшою буде інтенсивність світності об'єму реакційної камери, заповненої пробєю.

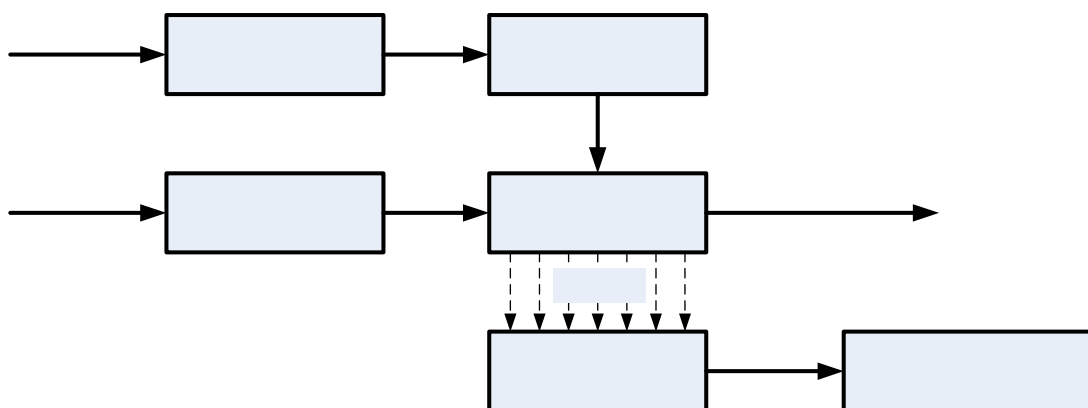


Рисунок 4.3 – Принципова схема хемілюмінесцентного газоаналізатора

Сучасна апаратура дозволяє визначати за допомогою фотомножника, апаратури підсилення та реєстрації сигналу інтенсивність світності об'єму, заповненого пробєю газу. Перед проведенням вимірювань газоаналізатор має бути відкаліброваним з використанням газових сумішей з відомою концентрацією оксиду азоту.

Для вимірювання концентрації нормованих шкідливих речовин (CO, CH, NO<sub>x</sub>) зараз застосовують автоматизовані комплекси газового аналізу безперервної дії.

## 5. Методи визначення концентрації канцерогенних вуглеводнів у відпрацьованих газах

Відносний внесок викидів канцерогенних вуглеводнів у загальний рівень забруднення повітря автомобілями є найбільшим. Незважаючи на це, викиди канцерогенних вуглеводнів з відпрацьованими газами автомобільних двигунів поки що не нормовані. Для пояснення причин існуючої ситуації розглянемо перелік основних етапів робіт з визначення концентрації БП як індикатора наявності канцерогенних речовин у відпрацьованих газах двигунів.

Апаратура, яку використовують, дозволяє проводити дослідження як на окремих режимах роботи двигуна, так і за їздовими циклами на бігових барабанах.

Для уловлювання БП з потоку відпрацьованих газів застосовують метод фільтрації проби, попередньо охолодженої у спеціальному охолоджувачі до температури 350-370 К, на аерозольному фільтрі, виготовленому з фільтруючої тканини Петрянова типу ФПП-15.

Після проведення випробувань автомобіля за їздовим циклом фільтруючий елемент виймають з корпусу фільтра, кладуть у стакан з нержавіючої сталі і заливають перегнаним бензолом. Стакан поміщають в ультразвукову установку УЗУ-0,25, яка створює коливання частотою 18 кГц, і проводять екстрагування протягом 15 хв. Потім екстракт із стакану зливають у чисту колбу, а стакан з фільтруючим елементом заливають чистим бензолом і знову екстрагують в ультразвуковій установці протягом 15 хв. Після цього зливають бензол другого екстрагування у колбу з бензолом першого екстрагування.



Концентрація БП у бензолі після екстрагування є малою, тому для її підвищення бензол випаровують у ротаційному вакуумному випарнику до об'єму 10 мл.

Для того, щоб очистити одержаний екстракт від домішок, проводять фракціонування із застосуванням адсорбційної хроматографії у тонкому шарі.

Далі екстракт розчиняють у н-октані і заморожують у рідкому азоті ( $T = 77 \text{ K}$ ).

Визначення кількості БП у замороженому розчині екстракту в н-октані виконують методом спектрального аналізу на спектрометрі комбінованого розсіювання, наприклад типу ДФС-12 або ДФС-24.

Наведений перелік лише головних етапів робіт, які необхідно виконати для визначення концентрації БП у відпрацьованих газах автомобілів, дозволяє зробити висновок, що викиди канцерогенних вуглеводнів досі не нормовані внаслідок складності визначення їх вмісту у відпрацьованих газах навіть в умовах дослідницьких центрів.

Опосередкованим показником наявності канцерогенних вуглеводнів у відпрацьованих газах двигунів є їх димність, що обумовлена сажовими частинками. Саме на них адсорбується основна маса канцерогенних вуглеводнів. Тому заходи, спрямовані на зменшення димності, одночасно призводять до зменшення викидів канцерогенних речовин.

## 6. Визначення концентрації альдегідів у відпрацьованих газах.

Викиди альдегідів ( $\text{RCHO}$ ) як окремої складової токсичних речовин відпрацьованих газів зараз не нормують. Проте у дослідницьких центрах, які займаються відпрацюванням робочого процесу, ці викиди визначають. Контроль концентрації альдегідів ускладнений через їх нестабільність, високу реакційну спроможність і малі концентрації. Один з методів визначення вмісту альдегідів у відпрацьованих газах заснований на реакції цих з'єднань з 2,4-днітрофенілгідразином (2,4-ДНФГ). Реєстрацію гідразонів – продуктів реакції  $\text{RCHO}$  та 2,4-ДНФГ – здійснюють гравіметричним або спектрофотометричним способом.

Альдегіди є продуктами неповного окиснення вуглеводнів, тому при застосуванні полум'яно-іонізаційного детектування вони будуть ураховані і включені у загальну кількість вуглеводнів.

## 7. Визначення димності відпрацьованих газів.

Димність відпрацьованих газів двигунів є характеристикою їх оптичних властивостей. Вона обумовлена присутністю твердих частинок та багатоатомних газів, здатних до поглинання, відбивання (розсіювання) та випромінювання світлового потоку.

Димність сприймається візуально як погіршення прозорості та наявність певного кольору відпрацьованих газів. Переважно чорний колір обумовлений присутністю в них сажових частинок, що є наслідком неповного згорання палива. Синього кольору газу набувають у випадку присутності аерозолів масла, яке потрапляє із системи змащування в камеру згорання. Білий колір зазвичай буває на режимі прогрівання двигуна і свідчить про наявність у відпрацьованих газах легких вуглеводнів.

Димність відпрацьованих газів технічно справних двигунів з примусовим запалюванням мала, тому її не нормують.

Для дизелів в Україні та Росії димність є нормованим показником. Кількісну оцінку димності відпрацьованих газів дають в умовних одиницях, які залежать від застосованого методу її визначення.

На практиці зараз застосовують два основні методи вимірювання димності відпрацьованих газів:

- фільтрацією проби відпрацьованих газів визначеного об'єму крізь стандартний паперовий фільтр з наступним виміром ступеня чорноти фільтра;

- вимірюванням ступеня ослаблення світлового випромінювання при проходженні крізь вимірювальний канал певної довжини (зазвичай 0,43 м).

Найбільш простим, дешевим і оперативним є метод фільтрації проби, розроблений фірмою «Бош» (Bosch). Схему насосного димоміру, який реалізує цей метод, наведено на рис. 4.4.

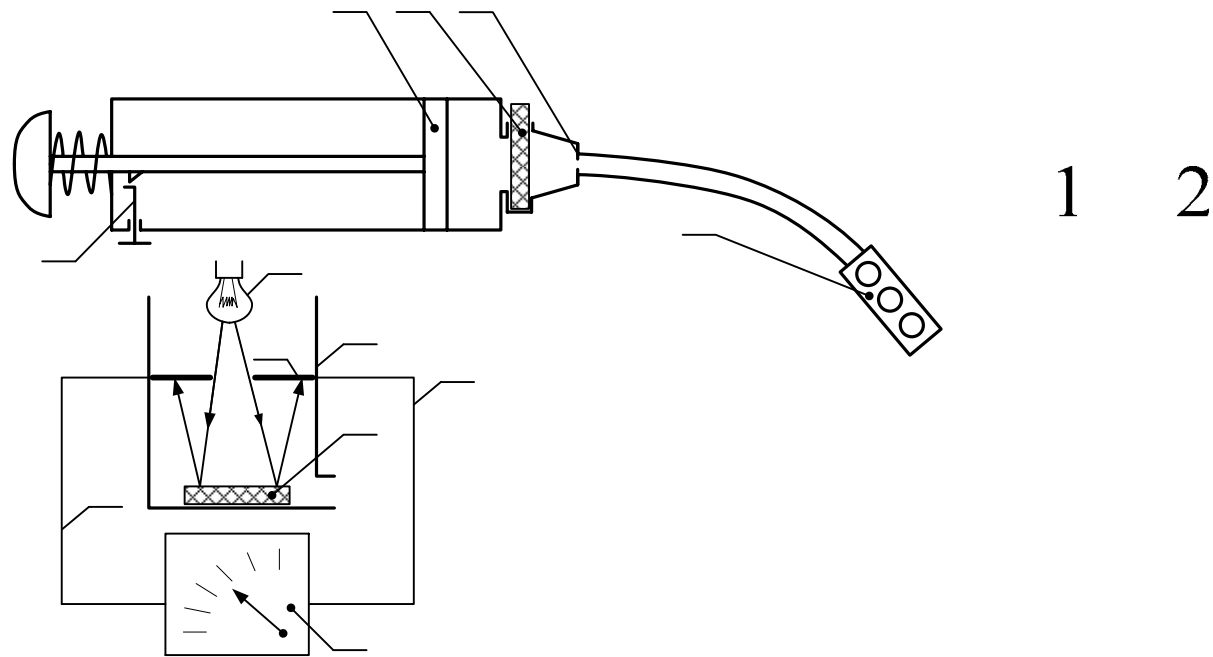


Рисунок 4.4 – Схема насосного димоміра: 1 – поршневий насос, 2 – паперовий фільтр; 3 – жиклер; 4 – пробовідбірник; 5 – корпус вимірювального приладу; 6 – стопор; 7 – шкала вимірювального приладу; 8 – джерело світла; 9 – фоточутлива пластина; 10 – електричний контур.

За цим методом заданий об'єм відпрацьованих газів (звичайно 300-330 см<sup>3</sup>) втягують поршневим насосом 1 через пробовідбірник 4 через жиклер 3, а далі – крізь круглий паперовий фільтр 2 діаметром 40 мм з діаметром пор близько 4,5 мкм. Тверді частинки, які обумовлюють димність газу, утримуються фільтром 2, внаслідок чого його колір змінюється. Чим більше буде частинок у пробі газів, тим більшим буде ступінь забруднення фільтра і зміна його кольору. Після прокачування проби газу колір фільтра порівнюють із тоною шкалою.

Для автоматизації процесу вимірювання за допомогою насосного димоміру димність визначають шляхом вимірювання інтенсивності світла, відбитого від пробного фільтра, розташованого у вимірювальному приладі 5 (рис. 4.4). Світло, відбите від фільтра 2, попадає на фоточутливу пластину 9 і змінює силу електричного струму в контурі 10, до якого під'єднана вимірювальна шкала 7.

Так як вимірювання димності за допомогою приладу типу Бош займає відносно багато часу, то цей тип приладів придатний тільки

для вимірів димності на сталих режимах. До переваг цього типу приладів можна віднести простоту і мобільність, що дозволяє виконувати вимірювання димності відпрацьованих газів автомобіля у «польових» умовах.

За методом визначення оптичної густини потоку газів працюють оптичні димоміри (наприклад, фірми «Хартридж»). Принципова схема оптичного димоміра наведена на рис. 4.5.

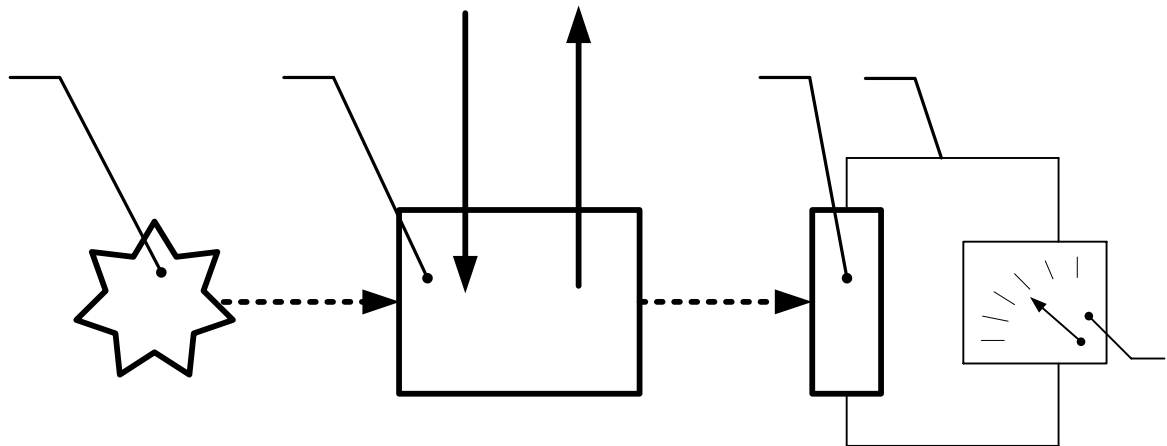


Рисунок 4.5 – Принципова схема оптичного димоміра

Газ із випускного трубопроводу двигуна безперервно подають у проточну кювету 2 і далі його викидають в атмосферу. Джерело світла 1 просвічує газ 1 кюветі. Збільшення оптичної густини потоку газу буде викликати збільшення ступеня ослаблення потоку світла на виході з кювети. Ослаблений потік світла потрапляє на фотоеlement 3, фотострум якого змінюється залежно від оптичної густини газу в кюветі.

Димоміри типу «Хартридж» можуть реєструвати димність як на сталих, так і на перехідних режимах. Однак вони складні, громіздкі та важкі, тому їх застосовують переважно при стендових випробуваннях дизелів.

Прилади типу «Бош» і «Хартридж» дають результати вимірювань димності у різних умовних показниках.

Шкала Бош розбита на 10 одиниць димності. За цією шкалою 0 відповідає чистому фільтру, а 10 – повному поглинанню світла поверхнею фільтра.

Показником димності за методом фірми “Хартридж” є або натуральний показник ослаблення потоку світла  $K$ ,  $\text{м}^{-1}$ , або коефіцієнт ослаблення потоку світла  $N$ , %.

Натуральний показник визначають за формулою

$$K = \frac{1}{l_e}, \quad (4.1)$$

де  $l_e$  – довжина стовпа відпрацьованих газів, на якому потік випромінювання від джерела світла зменшується у 2,718 раза.

Коефіцієнт ослаблення потоку світла  $N$  показує ступінь ослаблення потоку світла при проходженні його крізь стовп відпрацьованих газів стандартної довжини ( $L = 0,43$  м).

## 8. Прилади для вимірювання шуму.

Шум належить до параметричних видів забруднення навколишнього середовища. Він поширюється як коливання повітря із частотою звукових коливань  $f = 16-20000$  Гц.

Для опису процесів поширення звукових коливань використовують терміни та поняття акустики, деякі з них наведені нижче.

Швидкість звуку  $c$ ,  $\text{м/с}$ , у різних середовищах є різною і також залежить від частоти звукових коливань  $f$ .

Звуковий тиск  $p$ ,  $\text{Па}$  – це тиск, який періодично змінюється при проходженні звукової хвилі. Ефективне (середньоквадратичне) значення звукового тиску називають  $A$ -скорегованим значенням. Якщо при вимірюванні шуму користуються ефективними значеннями акустичних параметрів, то в позначеннях одиниць вимірювання додатково пишуть (A).

Звукова потужність  $P$ ,  $\text{Вт}$  – потужність, яку у вигляді коливань випромінює джерело звуку.

$A$ -скорегований рівень звукового тиску визначають за формулою

$$L_p = 20 \cdot \lg \left( \frac{p}{p_0} \right), \quad (4.2)$$

де  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па – стандартний поріг відчуття звукового тиску людиною при  $f = 1000$  Гц (якщо звуковий тиск нижчий за  $p_0$  – вухо людини його не сприймає). Одиницею рівня звукового тиску є децибел – дБ(А).

За рівень шуму приймають рівень звукового тиску, який створює автомобіль. Для безпосереднього визначення акустичних характеристик автомобілів використовують:

- конденсаторні мікрофони для визначення рівня звукового тиску  $p$ , дБ(А);
- камери для акустичних вимірювань, які мають стінки, що поглинають звук;
- акселерометри з п'єзокварцевими датчиками для вимірювання коливань конструкції автомобіля;
- лазерні вимірювачі для безконтактного визначення вібрацій елементів конструкції автомобіля.

### **Контрольні запитання**

1. Які компоненти відпрацьованих газів автомобілів нормуються?
2. Опишіть методику визначення концентрації оксиду вуглецю у відпрацьованих газах автомобільних двигунів.
3. Опишіть методи визначення концентрації вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобільних двигунів.
4. Опишіть методику визначення концентрації оксиду азоту у відпрацьованих газах автомобільних двигунів.
5. Опишіть методи визначення димності відпрацьованих газів автомобільних двигунів.
6. Які прилади використовують при вимірюванні рівня шуму, що створюється автомобілем?

# ТЕМА «ПРАВИЛА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ»

## Лекція 5

1. Система стандартів, що встановлює вимоги до показників токсичності та димності відпрацьованих газів автомобільних двигунів.
2. Стенд з біговими барабанами.
3. Гальмівний стенд.
4. Розрахунок питомих викидів шкідливих речовин.

1. Система стандартів, що встановлює вимоги до показників токсичності та димності відпрацьованих газів автомобільних двигунів

Із десятків видів шкідливих речовин, що містяться у відпрацьованих газах ДВЗ, сьогодні лише для декількох встановлені граничні (нормативні) значення викидів у навколишнє середовище.

Викиди шкідливих речовин (або їх концентрацію у відпрацьованих газах) нормують лише за наступних умов:

- концентрацію цих речовин у відпрацьованих газах можна достатньо просто визначити за допомогою існуючого обладнання та приладів;
- викиди цих речовин можна зменшувати тим чи іншим способом.

Виходячи з цих принципів не нормують викиди оксидів сірки, сполук свинцю, канцерогенних вуглеводнів тощо.

Методику визначення показників токсичності та димності відпрацьованих газів (ВГ) автомобільних дизелів вибирають з урахуванням умов перевірки (в експлуатації, приймальні випробування нового або відремонтованого дизеля) та повної маси автомобіля  $M_a$ , на який встановлено двигун ( $M_a$  менше або більше 3,5 т). Структуру комплексу стандартів на випробування дизелів наведено на рис. 5.1.

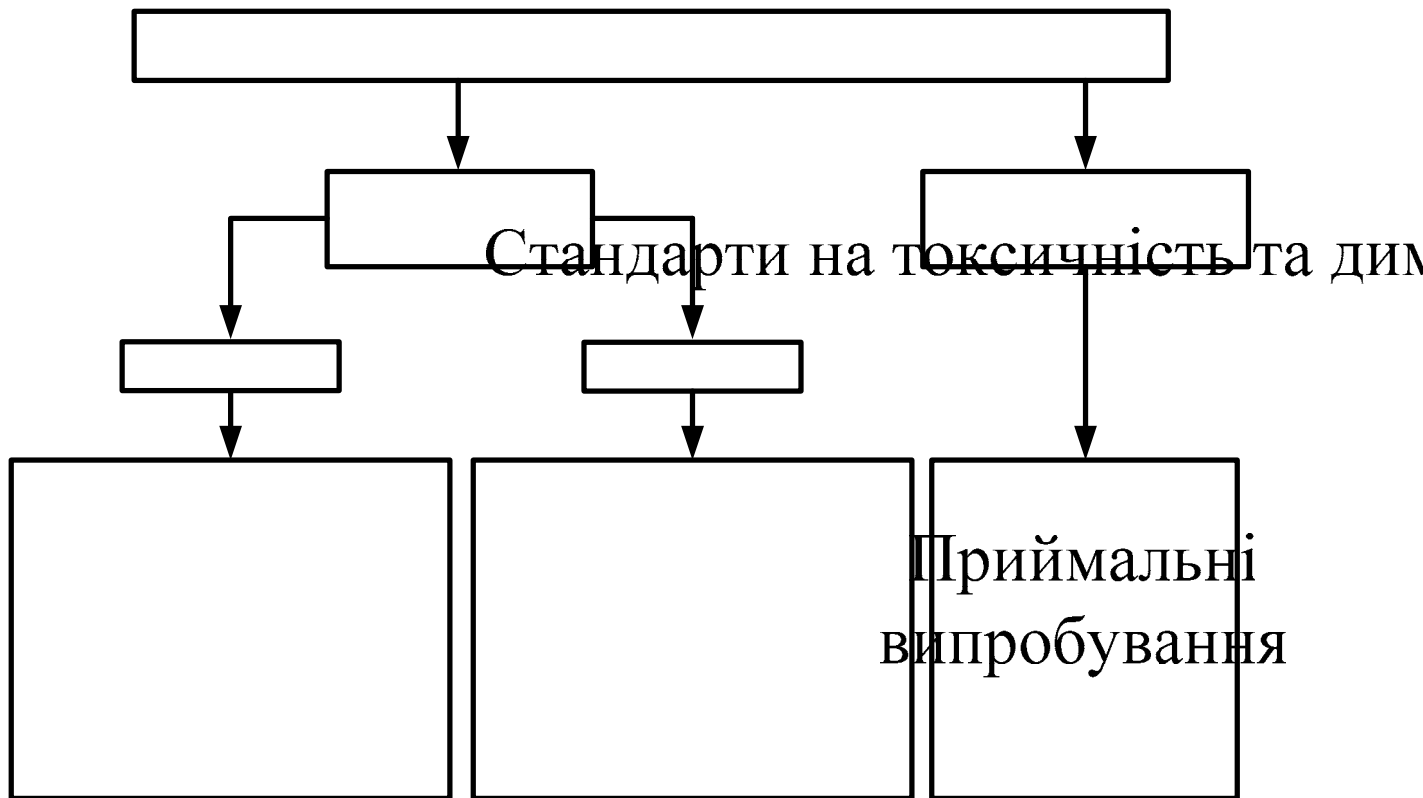


Рисунок 5.1 – Структура стандартів на показники токсичності та димності ВГ дизелів

Для двигунів з примусовим запалюванням, так само як і для дизелів, методику визначення екологічних показників відпрацьованих газів вибирають залежно від умов, у яких знаходиться двигун (приймальні випробування, експлуатація) а також повної маси автомобіля  $M_a$ , на якій встановлено двигун.

Структура каталітичних стандартів, що регламентують правила визначення показників токсичності відпрацьованих газів двигунів з примусовим запалюванням, показана на рис. 5.2.

## 2. Стенд з біговими барабанами

У разі проведення приймальних випробувань автомобілів загальною масою  $M_a \leq 3,5$  т визначення показників токсичності відпрацьованих газів проводять на стенді з біговими барабанами. Обладнання стенда дозволяє реалізувати задану програму імітації зміни швидкості руху автомобіля, тобто заданий їздовий цикл. Принципову схему стенда з біговими барабанами наведено на рис. 5.3.



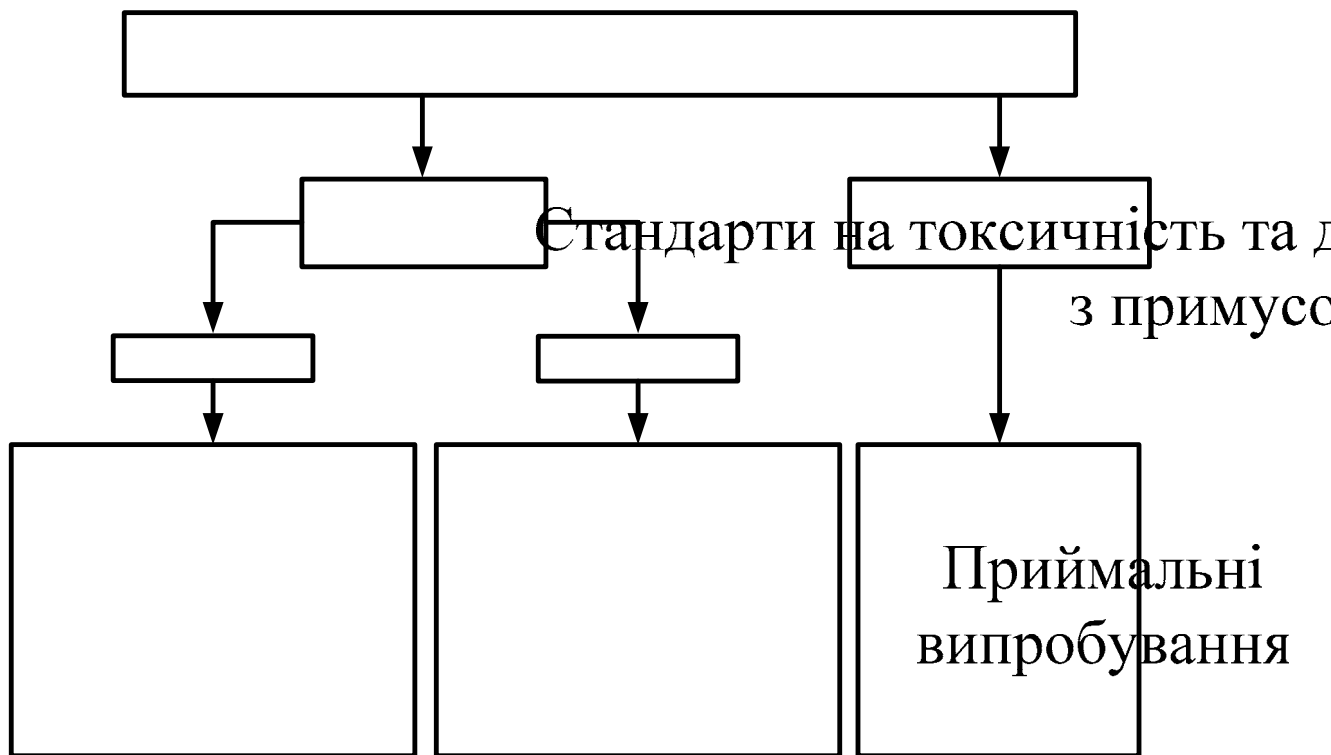


Рисунок 5.2 – Структура комплексу стандартів на показники токсичності ВГ автомобільних двигунів з примусовим зарядом



Рисунок 5.3 – Принципова схема станда з біговими барабанами: 1 – ведуче колесо; 2 – бігові барабани; 3 – маховик; 4 – привід маховика.

Потужність, яку розвиває двигун, через ведучі колеса передається на бігові барабани, а з них – на маховик (маховики). Момент інерції маховика підбирають з урахуванням маси автомобіля так, щоб він відтворював сили інерції, які діють на трансмісію при прискоренні та гальмуванні автомобіля.

Під час випробувань автомобілів на стендах з біговими барабанами режим роботи двигуна змінюють у певній послідовності, яка має назву їздового циклу. Їздові цикли одержують шляхом узагальнення статистичних даних щодо типових режимів експлуатації масових автомобілів. У розвинутих країнах їздові цикли унормовані. В Україні використовують їздовий цикл за ОСТ 37.001.054–86, який збігається з європейським їздовим циклом, встановленим Правилами № 83.03 ЄЕК ООН. За цим циклом після запуску двигун перші 40 секунд працює на режимі холостого ходу. Далі чотири рази повторюється так званий міський цикл (тест *ECE*), який має тривалість 195 с. Загальна тривалість чотириразового повторення міського тесту – 820 с. За цей час автомобіль теоретично проходить 4,052 км. Після цього виконують швидкісну частину циклу (тест *EUUDC*, *Extra Urban Driving Cycle*) тривалістю 400 с, притаманну руху автомобіля по магістралях з максимальною швидкістю 120 км/год. Загальний вигляд циклу за тестами *ECE* + *EUUDC* показаний на рис. 5.5. Загальна тривалість європейського їздового циклу *ECE* + *EUUDC* – 1220 с, теоретичний шлях, який за цей час міг би пройти автомобіль – 11,01 км.

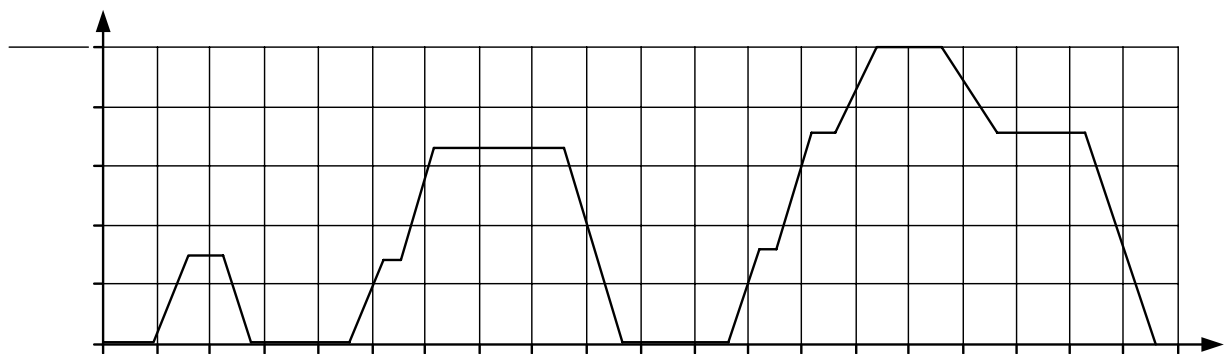


Рисунок 5.4 – Фрагмент європейського їздового циклу (тест *ECE*)

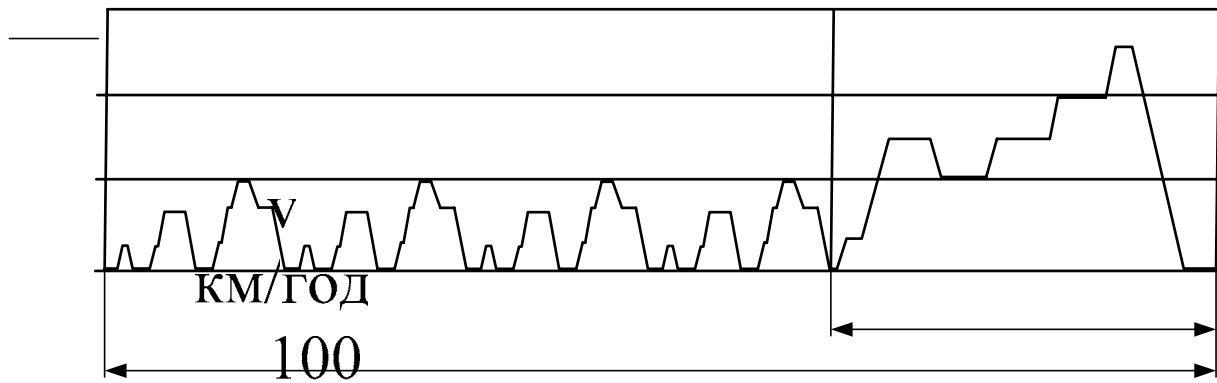


Рисунок 5.5 – Загальний вигляд європейського їздового циклу (тести *ECE + EUDC*) тест *ECE*  
50

Цикли *ECE + EUDC* виконують при температурі навколишнього середовища  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

З 01.01.2002 рр в ЄЕС введено додаткові випробування автомобілів контрольною масою до 1305 кг при температурі  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ці випробування виконують лише за міським циклом *ECE*.

У країнах ЄЕС з 2000 р. вантажні автомобілі також проходять випробування на стенді з біговими барабанами за європейським перехідним випробувальним циклом – *ETC (European Transient Cycle)*, який значно краще враховує реальні умови експлуатації автомобіля. Цей цикл складається з трьох груп нестационарних режимів, що відповідають руху автомобіля на міських, сільських дорогах, а також швидкісних магістралях.

В Україні та Росії випробувальні цикли збігаються з випробувальними циклами країн Європейського Союзу (або подібні до них). У США та Японії застосовують випробувальні цикли з іншим чергуванням режимів. Тобто, випробування автомобілів в різних країнах можуть відбуватися за різними циклами і, відповідно, будуть відрізнятися. В такому разі їх не можна порівнювати між собою.

Система відбирання проб відпрацьованих газів, яку використовують на стендах з біговими барабанами, має забезпечити отримання проби, усередненої за цикл випробувань, після чого роблять вимірювання концентрацій окремих шкідливих речовин, а далі – перерахунок отриманих результатів на масовий викид шкідливої речовини за одиницю пройденого шляху (г/км) або за цикл випробувань (г/іспит).

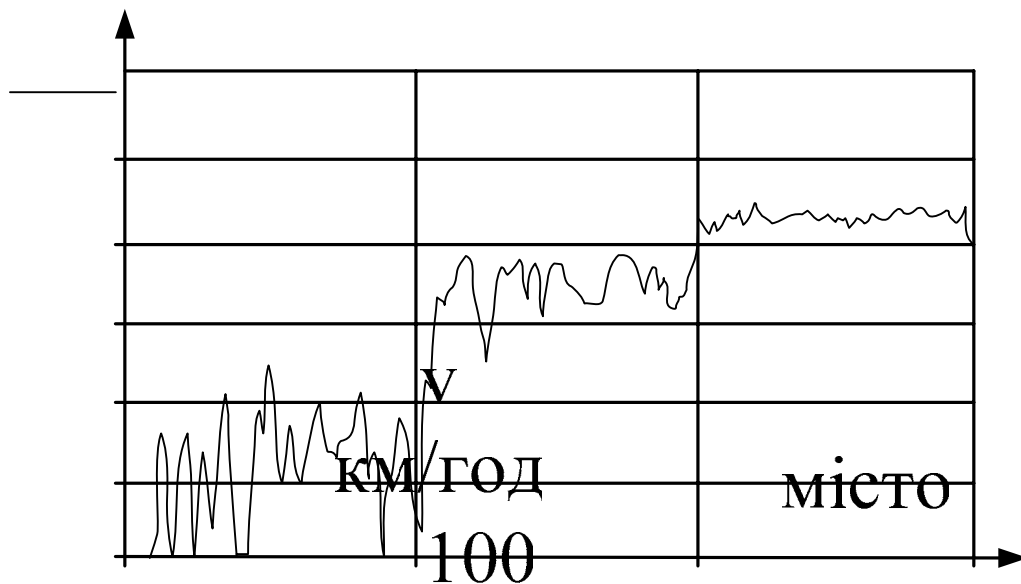


Рисунок 5.6 – Режими руху автомобіля за європейським перехідним випробувальним циклом ETC

У Євросоюзі граничні значення показників токсичності автомобільних двигунів мають назву норм Євро (Euro) з відповідним номером. Ці норми зараз є найбільш поширеними у світі. Вони не залежать від робочого об'єму двигуна і періодично змінюються у бік введення більш жорстких вимог до вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах.

Норми Євро 1 (Euro I) та Євро 2 (Euro II) передбачали проведення випробувань автомобіля на стенді з біговими барабанами тільки за тестом ECE загальною тривалістю 820 с.

Норми Євро 3 (Euro III) та Євро 4 (Euro IV) передбачають випробування автомобіля за тестом ECE + EUDC загальною тривалістю 1220 с.

З 1 січня 2009 р. у країнах Євросоюзу діють екологічні норми Євро 5 (Euro V).

У 2014 році планується введення у країнах ЄС екологічних норм Євро 6 (Euro VI).

Норми Євро на граничні викиди шкідливих речовин для автомобілів повною масою до 3,5 т наведені у табл. 5.1 (ІЗ – двигун з іскровим запалюванням, Д – дизель).

Норми Євро для випробувань вантажних автомобілів за європейським перехідним випробувальним циклом ЕТС наведені у табл. 5.2 (NMHC – викиди неметанових вуглеводнів, CH<sub>4</sub> – викиди метану).

Таблиця 5.1 – Граничні викиди шкідливих речовин автомобілями за результатами випробувань на стенді з біговими барабанами за циклами ECE та ECE + EUDC

Стандарт	Рік впровадження	Тип двигуна	Граничні викиди речовини, г/км					
			CO	CH+NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	Тверді частинки	Випаровування	Кількість твердих частинок
Євро 1	1993	ІЗ, Д	2,72	0,97		0,14	2	–
Євро 2	1996	Д	1,00	0,70		0,08	2	–
		ІЗ	2,20	0,50	–	–	–	–
Євро 3	2000	Д	0,64	0,56	0,50	0,05	2	–
		ІЗ	2,30	0,2 +0,15	0,15	–	–	–
Євро 4	2005	Д	0,50	0,30	0,25	0,025	2	–
		ІЗ	1,00	0,1 +0,08	0,08	–	2	–
Євро 5	2009	Д	0,50	0,23	0,18	0,005	2	–
		ІЗ	1,00	0,1 +0,06	0,06	0,005	2	–
Євро 6	2014	Д	0,50	0,17	0,08	0,005	2	6,0·10 <sup>11</sup>
		ІЗ	1,00	0,1 +0,06	0,06	0,005	2	–

Відмінною рисою норм Євро 6 є те, що в них нормується не тільки допустима маса твердих частинок, но і їх допустима кільк-

кість. Це зроблено для того, щоб врахувати дуже малі частинки, що проходять крізь фільтр і, таким чином, не враховуються при вимірюванні масових викидів твердих частинок.

Таблиця 5.2 – Граничні викиди шкідливих речовин вантажними автомобілями при випробуваннях за циклом ЕТС (не стосується газових двигунів)

Стандарт	Рік впровадження	Граничні викиди речовини, г/(кВт·год)				
		СО	NMHC	СН <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	тверді частинки
Євро 3	2000	5,45	0,78	1,6	5,0	0,16
Євро 4	2005	4,00	0,55	1,1	3,5	0,03
Євро 5	2008	4,00	0,55	1,1	2,0	0,03
Євро 6	2013	4,00	0,16	0,5	0,4	0,01

### 3. Гальмівний стенд

Визначення екологічних характеристик двигунів автомобілів повною масою понад 3,5 т під час приймальних випробувань проводять окремо від автомобіля на гальмівному стенді. До складу стенда входять: фундамент, на який встановлюють двигун; навантажувальний пристрій; системи, що забезпечують роботу двигуна (паливна, постачання повітря, змащення, охолодження, пуску, відведення відпрацьованих газів); система споживання потужності двигуна; системи управління роботою двигуна; прилади та системи контролю параметрів двигуна; підйомно-транспортні засоби. Принципова схема гальмівного стенда наведена на рис. 5.7.

В якості навантажувальних пристроїв гальмівних стендів використовують або електричні балансири машини (по суті електричні генератори), або гідравлічні гальма. Навантажувальні пристрої дозволяють установлювати та вимірювати момент, який розвиває двигун, і завдяки цьому визначати з малою похибкою потужність двигуна.

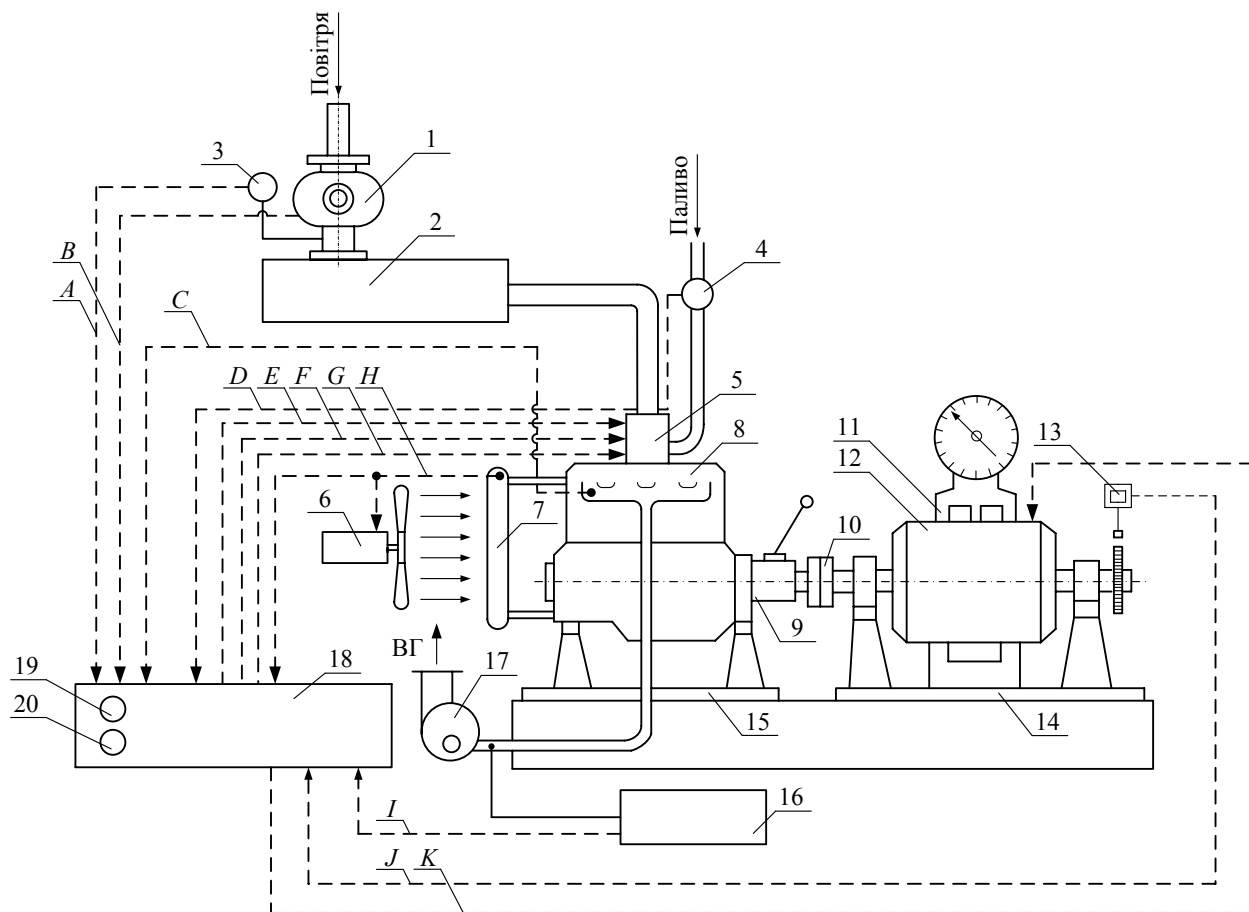


Рисунок 5.7 – Принципова схема гальмівного станда:

1 – витратомір палива; 2 – резонатор; 3 – вимірювач температури і тиску повітря; 4 – вимірювач витрати палива; 5 – блок управління двигуном і система дозування палива; 6 – вентилятор; 7 – радіатор; 8 – двигун; 9 – зчеплення та коробка передач; 10 – кардана передача; 11 – балансирна машина; 12 – навантажувальний пристрій; 13 – вимірювач частоти обертання колінчастого вала; 14 – фундамент та опори навантажувального пристрою; 15 – фундамент та опори двигуна; 16 – пристрій (пристрої) для вимірювання вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах; 17 – пристрій для відводу відпрацьованих газів; 18 – пульт управління двигуном; 19 – пристрій для вимірювання температури навколишнього повітря; 20 – пристрій для вимірювання тиску навколишнього повітря. Сигнали управління та інформаційні сигнали: *A* – температура і тиск повітря; *B* – витрата повітря; *C* – температура відпрацьованих газів; *D* – витрата палива; *E* – управління дросельною заслінкою; *F* – управління кутом випередження запалювання (впорскування палива); *G* – управління складом паливоповітряної суміші; *H* – температура охолоджуючої рідини; *I* – вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах; *J* – частота обертання колінчастого вала двигуна; *K* – управління навантаженням.

На гальмівних стендах визначають показники токсичності відпрацьованих газів автомобільних двигунів при роботі на кількох стаціонарних режимах з певними значеннями частоти обертання колінчастого вала та потужності.

Нормована сукупність режимів, на яких визначають показники двигуна, складає випробувальний цикл.

Обробку результатів визначення показників двигуна на режимах випробувального циклу виконують за певними правилами, які є обов'язковими, і остаточні результати подають у вигляді питомих викидів нормованих шкідливих речовин.

Для дизелів і двигунів з примусовим запалюванням прийняті різні випробувальні цикли. Стендові випробування дизелів дорожніх транспортних засобів, повна маса яких  $M_a$  перевищує 3,5 т, здійснюють за циклами випробувань, встановленими різними стандартами та правилами.

В Україні діє ОСТ 37.001.234 – 81, який передбачає випробування дизеля за 13-режимним циклом.

У країнах ЄЕС до 2000 р. випробування виконували відповідно до Правил № 49 ЄЕС, які також передбачали 13-режимний цикл, подібний до циклу за ОСТ 37.001.234 – 81, але з іншими ваговими коефіцієнтами окремих режимів.

Після 2000 р. у країнах ЄЕС випробування на гальмівних стендах проводять за циклами:

- ESC – Європейський стаціонарний випробувальний цикл (European Stationary Cycle);
- ELR – Європейський навантажувальний цикл (European Load Response Test) для визначення димності відпрацьованих газів.

На гальмівному стенді димність відпрацьованих газів дизелів визначають за наступними правилами:

- в Україні – згідно з ГОСТ 17.2.2.01– 84;
- у країнах ЄЕС – за циклом ELR.

Стендові випробування двигунів з примусовим запалюванням транспортних засобів, повна маса яких перевищує 3,5 т, здійснюють за 9-режимним циклом випробувань, встановленим ОСТ 37.001.070 – 75.

Стандартний 13-режимний цикл, встановлений ОСТ 37.001.234 – 81 або Правилами № 49 ЄЕС, передбачає визначення



показників токсичності відпрацьованих газів на наступних стаціонарних режимах: трьох режимах холостого ходу; п'яти режимах з частотою обертання колінчастого вала, яка дорівнює номінальній частоті; п'яти режимах, які мають частоту обертання колінчастого вала, при якій крутний момент досягає максимуму. Чергування режимів наведено у табл. 5.3, а також для наочності – на рис. 5.8, де в колах вказано номери режимів ( $n_{\text{ном}}$  – номінальна частота обертання колінчастого вала;  $n_{\text{ххmin}}$  – мінімальна частота обертання колінчастого вала на режимі холостого ходу;  $n_{\text{Мемax}}$  – частота обертання колінчастого вала, при якій крутний момент досягає максимуму).

Коефіцієнт вагомості  $K_B$  характеризує відносний час роботи двигуна на даному режимі в умовах експлуатації. Його визначають на підставі обробки статистичних даних щодо режимів роботи автомобільної силової установки. Значення коефіцієнта вагомості окремих режимів за різними стандартами відрізняються, що обумовлено існуючими відмінностями режимів руху автомобілів у різних країнах.

У табл. 5.3 наведені значення коефіцієнтів вагомості режимів для випробувальних циклів відповідно до ОСТ 37.001.234 – 81 та Правил № 49.

У країнах ЄЕС з 2000 р. визначення показників токсичності відпрацьованих газів дизелів, призначених для встановлення на автомобілі загальною масою понад 3,5 т, виконують шляхом випробувань на гальмівних стендах за циклом ESC.

Цикл ESC, як і цикл за Правилами № 49, передбачає визначення параметрів дизеля на 13-ти стаціонарних режимах, але частота обертання колінчастого валу, навантаження та коефіцієнти вагомості режимів визначаються за іншими правилами. Для наочності порядок визначення частот обертання колінчастого валу ілюструє зовнішня швидкісна характеристика двигуна на рис. 5.9, на якій потужність наведена у відсотках від номінальної.

Для проведення випробувань за циклом ESC спочатку визначають п'ять характерних для даного дизеля частот обертання колінчастого вала ( $n_{\text{ххmin}}$ ,  $n_{hi}$ ,  $n_{lo}$ ,  $n_a$ ,  $n_b$ ,  $n_c$ ), які надалі будуть використані для визначення конкретних режимів випробувань.

Таблиця 5.3 – Умови навантаження дизеля за 13- режимним циклом відповідно до ОСТ 37.001.234 – 81 та Правил № 49

№ режиму	Частота обертання колінчастого вала $n$ , хв. <sup>-1</sup>	Відносне навантаження від максимально можливого при даній частоті обертання колінчастого вала $\bar{P}$ , %		Коефіцієнт вагомості режиму $K_B$	
		ОСТ 37.001.234 – 81	Правила № 49	ОСТ 37.001.234 – 81	Правила № 49
1	$n_{xxmin}$	0	0	0,20/3	0,25/3
2	$n_{Mmax}$	2	10	0,08	0,08
3	$n_{Mmax}$	25	25	0,08	0,08
4	$n_{Mmax}$	50	50	0,08	0,08
5	$n_{Mmax}$	75	75	0,08	0,08
6	$n_{Mmax}$	100	100	0,08	0,25
7	$n_{xxmin}$	0	0	0,20/3	0,25/3
8	$n_{НОМ}$	100	100	0,08	0,10
9	$n_{НОМ}$	75	75	0,08	0,02
10	$n_{НОМ}$	50	50	0,08	0,02
11	$n_{НОМ}$	25	25	0,08	0,02
12	$n_{НОМ}$	2	10	0,08	0,02
13	$n_{xxmin}$	0	0	0,20/3	0,25/3

Значення  $n_{xxmin}$ ,  $n_{hi}$ ,  $n_{lo}$  вибирають наступним чином:  $n_{xxmin}$  – мінімальна частота обертання колінчастого вала на режимі холостого ходу;  $n_{hi}$  – максимально можлива частота обертання колінчастого вала, при якій потужність двигуна сягає 70 % від номінальної потужності;  $n_{lo}$  – мінімальна частота обертання колінчастого вала, при якій ще можна отримати 50 % від номінальної потужності.

Значення  $n_a$ ,  $n_b$ ,  $n_c$  визначають за формулами

$$n_a = n_{lo} + 0,25 \cdot (n_{hi} - n_{lo}), \quad (5.1)$$

$$n_b = n_{lo} + 0,50 \cdot (n_{hi} - n_{lo}), \quad (5.2)$$

$$n_c = n_{lo} + 0,75 \cdot (n_{hi} - n_{lo}). \quad (5.3)$$

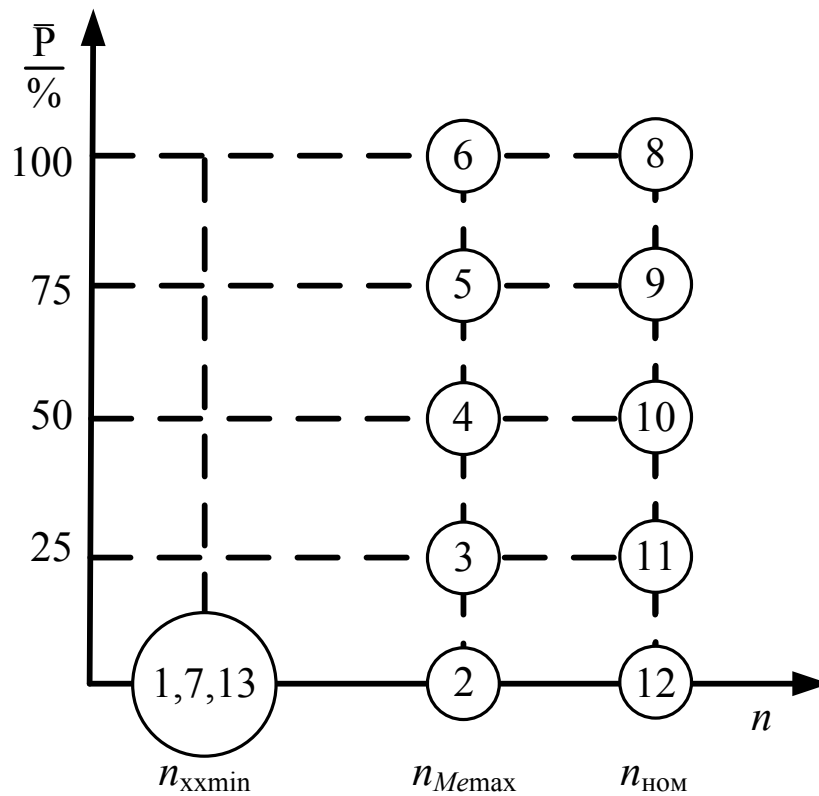


Рисунок 5.8 – 13-режимний випробувальний цикл для дизелів за ОСТ 37.001.234 – 81 та Правилами № 49

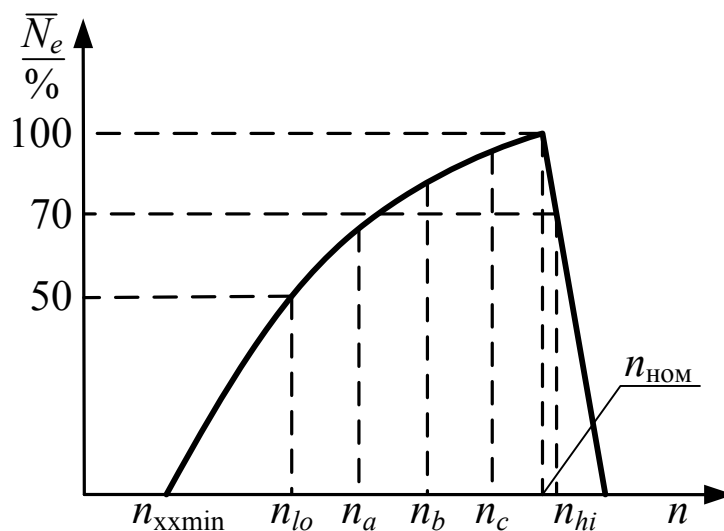


Рисунок 5.9 – Визначення характерних частот обертання колінчастого вала для випробувального циклу ESC

Випробування дизеля виконують на 13-ти режимах, які вказані у табл. 5.4. В цій таблиці також наведені значення вагових коефіцієнтів кожного режиму.

Таблиця 5.4 – **Режими випробувань за циклом ESC**

№ режиму	Частота обертання колінчастого вала, $xv^{-1}$	Відносне навантаження від максимально можливого $\bar{P}$ , %	Коефіцієнт вагомості режиму, $K_B$
1	$n_{xxmin}$	0	0,15
2	$n_a$	100	0,08
3	$n_b$	50	0,10
4	$n_b$	75	0,10
5	$n_a$	50	0,05
6	$n_a$	75	0,05
7	$n_a$	25	0,05
8	$n_b$	100	0,09
9	$n_b$	25	0,10
10	$n_c$	100	0,08
11	$n_c$	25	0,05
12	$n_c$	75	0,05
13	$n_c$	50	0,05

Для наочності схема випробувального циклу ESC наведена на рис. 5.10.

На рис. 5.10 заштриховані кола позначають три випробувальні режими, які можуть бути додатково назначені персоналом, що проводить випробування. Параметри цих трьох режимів вибираються випадковим чином відповідно в межах прямокутників 8-10-12-4, 6-4-3-5, 3-13-11-9 (рис. 5.10).

#### 4. Розрахунок питомих викидів шкідливих речовин.

Питомі викиди шкідливої речовини – це кількість шкідливої речовини (у грамах), яка утворилася при роботі двигуна на 1

кВт·год енергії, виробленої цим двигуном. Відповідно, питомі викиди шкідливої речовини вимірюються у г/(кВт·год).

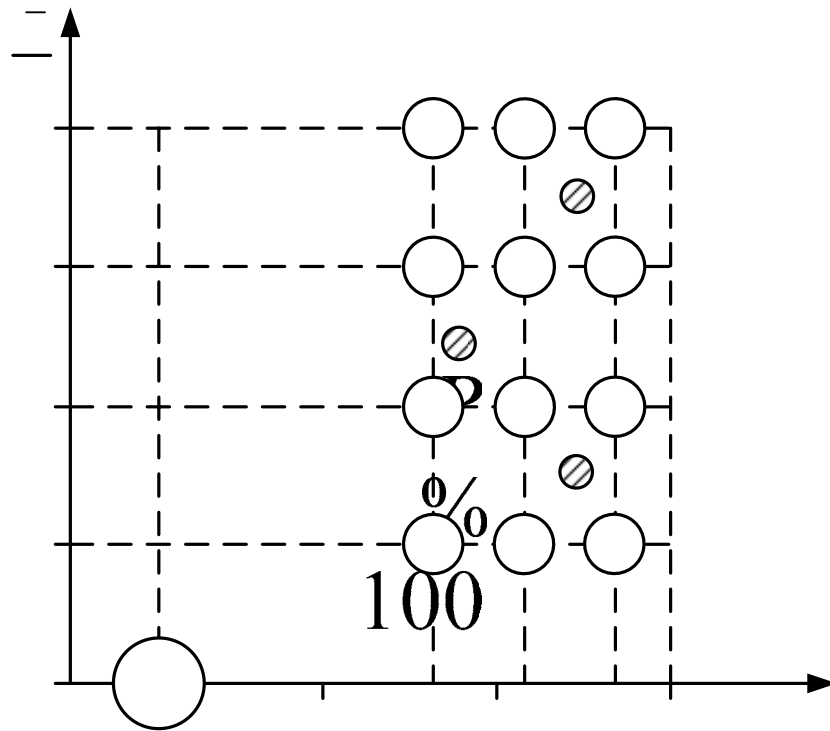


Рисунок 5.10 – Схема випробувального циклу ESC

При визначенні питомих викидів шкідливих речовин вимірюються такі параметри:

- частота обертання колінчастого вала  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ ;
- ефективна потужність двигуна  $N_e$ , кВт;
- витрата повітря  $G_{\text{пов}}$ , кг/год;
- витрата палива  $G_{\text{пал}}$ , кг/год;
- концентрація у відпрацьованих газах оксиду вуглецю  $W_{\text{CO}}$ ,  $\text{млн}^{-1}$ ;
- концентрація у відпрацьованих газах оксидів азоту,  $W_{\text{NOx}}$ ,  $\text{млн}^{-1}$ ;
- концентрація у відпрацьованих газах вуглеводнів,  $W_{\text{CH}}$ ,  $\text{млн}^{-1}$ .

Крім цих параметрів, на вході до пристрою для вимірювання витрати повітря визначають:

0

1

$n_{\text{xxmin}}$

$0,50 \cdot n_{\text{НОМ}}$

61

- температуру атмосферного повітря  $t$ , °С;
- атмосферний тиск  $B$ , Па;
- відносну вологість повітря  $\varphi$ , %.

На першому етапі обробки результатів випробувань двигуна визначають масові викиди окремих шкідливих речовин разом із відпрацьованими газами. Послідовність розрахунку наведена нижче.

Витрата відпрацьованих газів за годину, кг/год

$$G_{BG} = G_{нов} + G_{нал}, \quad (5.4)$$

де  $G_{нов}$  – масова витрата повітря, кг/год;  $G_{нал}$  – масова витрата повітря, кг/год.

Тиск насиченої водяної пари  $P_s$ , Па, при температурі навколишнього повітря  $t$ , °С, визначають за таблицями водяної пари або по графіку залежності  $P_s=f(t)$ , наведеному на рис. 5.11.

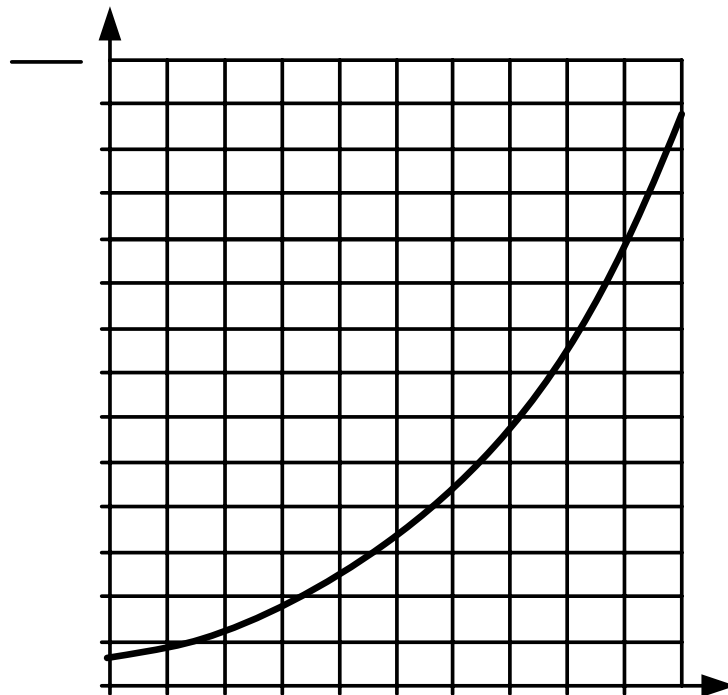


Рисунок 5.11 – Залежність тиску насиченої водяної пари від температури

$P_s,$   
Па

Абсолютна вологість повітря, г/кг

$$d = 6,22 \cdot \frac{\varphi \cdot P_s}{B - 0,01 \cdot \varphi \cdot P_s}. \quad (5.5)$$

Масовий викид оксидів азоту, кг/год

$$E_{NO_x} = 0,001587 \cdot W_{NO_x} \cdot F_{NO_x} \cdot G_{ВГ}, \quad (5.6)$$

де  $F_{NO_x}$  – виправний коефіцієнт, який враховує вологість повітря при вимірюванні концентрації  $NO_x$

$$F_{NO_x} = \left( 1 + \left( 0,044 \cdot \frac{G_{нал}}{G_{нов}} - 0,038 \right) \cdot (7 \cdot d - 75) + \dots \right. \\ \left. \dots + 1,8 \cdot \left( 0,0053 - 0,116 \cdot \frac{G_{нал}}{G_{нов}} \right) \cdot (t - 29) \right)^{-1}. \quad (5.7)$$

Масовий викид оксиду вуглецю, кг/год

$$E_{CO} = 0,000966 \cdot W_{CO} \cdot F_{CO} \cdot G_{ВГ}, \quad (5.8)$$

де  $F_{CO}$  – виправний коефіцієнт, який враховує вологість повітря при вимірюванні концентрації CO

$$F_{CO} = 1 - 1,85 \cdot \frac{G_{нал}}{G_{нов}}. \quad (5.9)$$

Масовий викид вуглеводнів, кг/год

$$E_{CH} = K_x \cdot W_{CH} \cdot F_{CH} \cdot G_{ВГ}, \quad (5.10)$$

де  $K_x$  – коефіцієнт, що враховує метод, застосований для визначення концентрації вуглеводнів у відпрацьованих газах ( $K_x = 1$  у випадку застосування полум'яно-іонізаційного методу,  $K_x = 2$  у випадку застосування методу інфрачервоної спектроскопії у зв'язку із селективним поглинанням випромінювання);  $F_{CH}$  – виправний коефіцієнт, який враховує вологість повітря при вимірюванні концентрації

СН ( $F_{\text{СН}} = 0,000478$  – для дизелів,  $F_{\text{СН}} = 0,000485$  – для двигунів з іскровим запалюванням).

Питомий викид кожної шкідливої речовини за 13-режимним циклом визначається за формулою

$$e_i = \frac{\sum_{j=1}^{13} (E_{i,j} \cdot K_{B,j})}{\sum_{j=1}^{13} (N_{e,j} \cdot K_{B,j})}, \quad (5.11)$$

де  $i$  – символічне позначення токсичної речовини (СО, NO<sub>x</sub>, СН);  $j$  – номер режиму в циклі випробувань;  $E_{i,j}$  – масовий викид речовини  $i$  на режимі  $j$ ;  $K_{B,j}$  – коефіцієнт вагомості режиму  $j$ ;  $N_{e,j}$  – потужність двигуна на режимі  $j$ , яка визначається за формулою

$$N_{e,j} = \bar{P}_j \cdot N_e(n)_{\text{max}} \cdot 0,01, \quad (5.12)$$

де  $N_e(n)_{\text{max}}$  – максимально можлива потужність на режимі зовнішньої характеристики при заданій частоті обертання колінчастого валу, кВт;  $\bar{P}_j$  – відносне навантаження на даному режимі, %.

Вважають, що двигун відповідає вимогам стандартів, якщо значення питомих викидів кожної з трьох шкідливих речовин ( $e_{\text{СО}}$ ,  $e_{\text{СН}}$ ,  $e_{\text{NO}_x}$ ), визначених при випробуваннях за 13-режимним циклом, не перевищують норм, наведених у табл. 5.5 (норми ОСТ 37.001.234 – 81) або у табл. 5.6 (норми Євро).

Таблиця 5.5 – Норми на викиди токсичних речовин за ОСТ 37.001.234 – 81

Речовина	Граничні викиди речовини, г/(кВт·год)
СО	9,5
NO <sub>x</sub>	18,35
СН	3,4



Таблиця 5.6 – Граничні викиди шкідливих речовин двигунами автомобілів повною масою понад 3,5 т за результатами випробувань на гальмівному стенді за циклами ESC і ELR

Стандарт	Рік впровадження	Граничні викиди речовини, г/(кВт·год)				Димність, м <sup>-1</sup>
		CO	CH	NO <sub>x</sub>	тверді частинки	
Євро 3	2000	2,1	0,66	5,0	0,10	0,80
Євро 4	2005	1,5	0,46	3,5	0,02	0,50
Євро 5	2008	1,5	0,46	2,0	0,02	0,15
Євро 6	2013	1,5	0,13	0,4	0,01	–

При випробуваннях дизеля на гальмівному стенді димність його відпрацьованих газів визначають відповідно до ГОСТ 17.2.2.01 – 84 на сталих режимах зовнішньої швидкісної характеристики та на режимі вільного прискорення.

На зовнішній швидкісній характеристиці димність визначають на шістьох режимах в інтервалі від номінальної частоти обертання колінчастого вала до більшої з двох частот: або 0,45 від номінальної, або 1000 хв<sup>-1</sup> з поділом частотного інтервалу на п'ять рівних частин. Саме на режимах зовнішньої швидкісної характеристики дизель працює з мінімальними значеннями коефіцієнта надлишку повітря, що створює умови для утворення сажі і збільшення димності.

На кожному сталому режимі димність вимірюють тричі, при цьому відносна різниця між результатами вимірювань не повинна перевищувати 4 %. Після цього за результат приймають середнє арифметичне трьох вимірювань.

Димність  $N$ , %, відпрацьованих газів автомобільного дизеля на сталих режимах не повинна перевищувати гранично-допустимих значень, які залежать від умовної витрати відпрацьованих газів  $G_{BG}$ , яка для чотирьохтактних дизелів визначається за формулою

$$G_{BG} = iV_h \cdot n \cdot 0,5, \quad (5.13)$$

а для двохтактних – за формулою

$$G_{BG} = iV_h \cdot n, \quad (5.14)$$

де  $iV_h$  – повний робочий об’єм циліндрів двигуна,  $\text{дм}^3$ ;  $n$  – частота обертання колінчастого вала,  $\text{с}^{-1}$ .

Гранично-допустимі значення димності  $N$  наведені у табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Гранично-допустимі значення димності відпрацьованих газів дизелів за ГОСТ 17.2.2.01 – 84

$G_{\text{ВГ}},$ $\text{дм}^3/\text{с}$	< 42	50	75	100	125	150	175	200	> 200
$N, \%$	60	56	50	45	41	39	37	35	34

Випробування дизеля на режимі вільного прискорення виконують при від’єднаному від колінчастого вала навантажувальному пристрої. Для створення вільного прискорення педаль управління подачею палива швидко, але без ривків, переводять з положення, яке відповідає мінімальній частоті обертання холостого ходу у положення максимально можливої частоти обертання, яку дозволяє регулятор. При цьому виникає збільшення частоти обертання колінчастого вала, а це, у свою чергу, викликає зміни у процесі згоряння і димності відпрацьованих газів.

Значення димності на режимі вільного прискорення необхідно безперервно визначати за методом вимірювання поточної оптичної густини стовпа відпрацьованих газів певної довжини (нормативні вимоги дані для випадку ефективної вимірювальної бази димоміра довжиною 0,43 м). За результат приймають максимальне значення димності, яке показує прилад протягом даного перехідного процесу. Вимірювання димності на режимі вільного прискорення повторюють вісім разів. Якщо відносна різниця між результатами останніх чотирьох вимірювань не перевищує 4%, за результатами останніх чотирьох вимірювань визначають середнє арифметичне значення  $N$ , яке вважають димністю на режимі вільного прискорення.

У дизелів без газотурбінного наддуву значення димності на режимі вільного прискорення не повинно перевищувати максимального значення димності на режимах зовнішньої швидкісної характеристики.

У дизелів з газотурбінним наддувом димність на режимі вільного прискорення може перевищувати максимальне значення дим-

ності на режимах зовнішньої швидкісної характеристики, але не більше ніж на 10 %.

Менш жорсткі вимоги до димності відпрацьованих газів дизелів з газотурбінним наддувом на режимі вільного прискорення обумовлені тим, що внаслідок інерційності ротора вільного турбокомпресора виникає відставання поточного тиску наддувального повітря від поточного значення циклової подачі палива. Це призводить до суттєвого зменшення коефіцієнта надлишку повітря і має за наслідок погіршення умов для повного згоряння палива.

Європейський цикл ELR призначений для визначення димності відпрацьованих газів при випробуваннях дизеля на гальмівному стенді. Його виконують на тих самих частотах обертання колінчастого вала  $n_a$ ,  $n_b$ ,  $n_c$ , що і у циклі ESC. Цикл складається з чотирьох швидкісних режимів. На перших трьох відбуваються випробування на частотах обертання колінчастого вала двигуна  $n_a$ ,  $n_b$  і  $n_c$  відповідно, дизель циклічно навантажують від 10 до 100 % максимальної потужності при даній частоті обертання колінчастого вала і вимірюють димність на кожному режимі. На четвертому швидкісному режимі частота обертання колінчастого вала  $n_4$  вибирається довільно персоналом, що проводить випробування, в проміжку між  $n_a$  і  $n_c$ ; мінімальне значення навантаження на двигун  $P_4$  на цьому режимі також вибирається довільно. Потім розраховують середнє значення димності за всіма чотирма режимами. Граничні значення димності за циклом ELR, встановлені нормами Євро, наведені у табл. 5.6. Для наочності схема випробувального циклу ELR наведена на рис. 5.12.

Правила визначення димності відпрацьованих газів дизелів, які знаходяться в експлуатації в Україні, встановлює ДСТУ 4276-2004. Вимірювання і нормування димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями в країнах ЄС виконується за аналогічними Правилами ЄЕК ООН № 24-03:1986.

Димність визначають на режимі вільного прискорення колінчастого вала. Правила ЄЕК ООН № 24-03:1986 вимагають використання димоміра, який працює за принципом визначення оптичної густини стовпа газів.

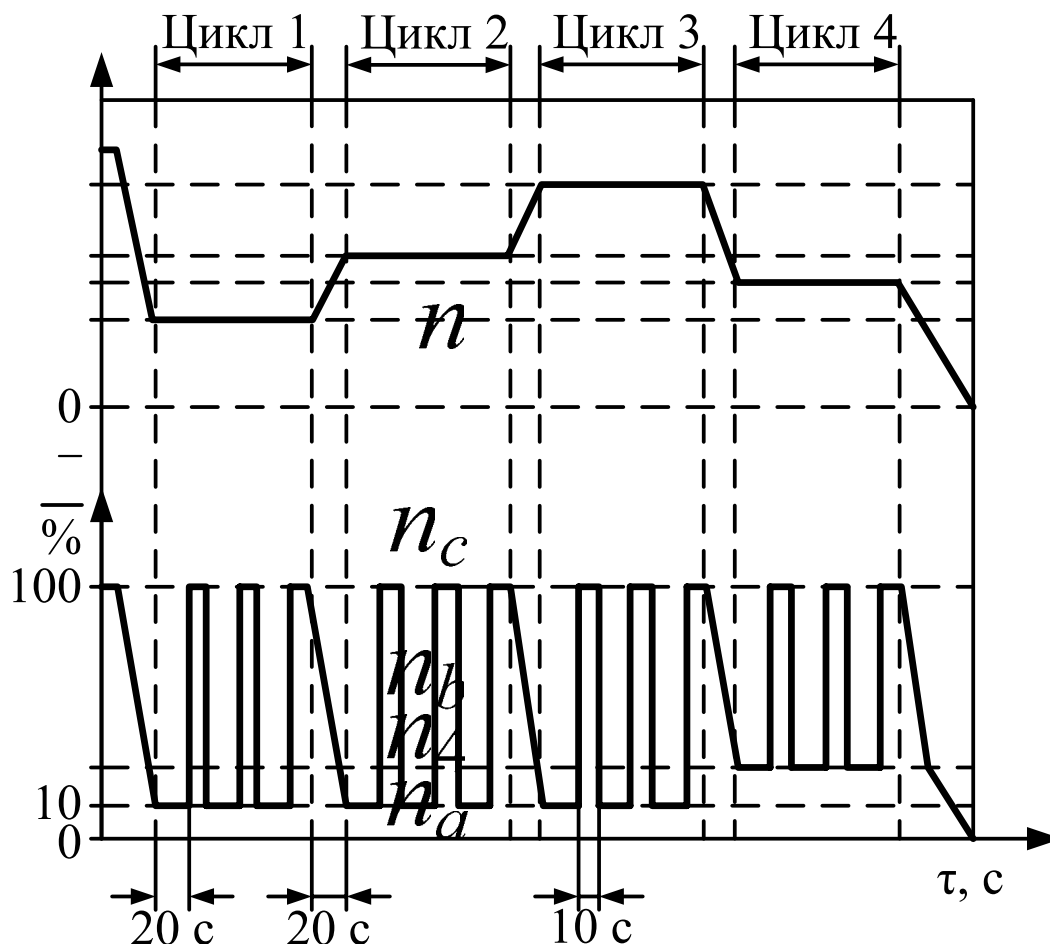


Рисунок 5.12 – Схема випробувального циклу ELR

Існують деякі відмінності  $R$  у правилах проведення вимірювання димності в умовах експлуатації та на гальмівних стендах. В умовах експлуатації вимірювання на режимі вільного прискорення виконують мінімум шість разів з інтервалом не більше 15 с, і якщо різниця у значеннях натурального показника ослаблення потоку світла  $K$  під час останніх чотирьох вимірювань не перевищуватиме  $0,25 \text{ м}^{-1}$  і не буде утворювати послідовність, яка зменшується, розраховують середнє арифметичне значення  $K$  за останніми чотирма вимірюваннями. Це значення приймають за показник димності на режимі вільного прискорення.

Гранично-допустимі значення показників димності при випробуваннях автомобілів з дизелями та газодизелями наведені у табл. 5.8.

Таблиця 5.8 – Граничні значення показників димності автомобільних дизелів при перевірці в умовах експлуатації за ДСТУ 4276 – 2004

Режим роботи	Граничне значення $K$ , $m^{-1}$	Граничне значення $N$ , %
Автомобілі з дизелями:	–	–
без наддуву	2,5	66
з наддувом	3,6	73
Автомобілі з газодизелями:	–	–
без наддуву	1,7	52
з наддувом	2,0	58

Визначення показників токсичності відпрацьованих газів двигунів з примусовим запалюванням (бензинових та газових), призначених для встановлення на автомобілі з повною масою більше ніж 3,5 т та автобуси з числом місць більше ніж 12 під час приймальних випробувань виконують відповідно до ОСТ 37.001.070 – 75. Цей стандарт передбачає визначення питомих викидів CO, CH та NO<sub>x</sub> на підставі даних, одержаних у ході випробувань двигуна на гальмівному стенді за циклом з дев'яти режимів, який повторюють двічі.

В Україні експлуатують велику кількість легкових і вантажних автомобілів з бензиновими двигунами. Визначення показників токсичності відпрацьованих газів цих автомобілів в умовах експлуатації виконують відповідно до ДСТУ 4277–2004 «Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, які працюють на бензині або газовому паливі». Цей стандарт не поширюється на автомобілі:

- загальна маса яких менша за 400 кг;
- максимальна швидкість яких не перевищує 50 км/год;
- з двотактними та роторними двигунами;
- з дизельними та газодизельними двигунами;
- які експлуатуються у гірських умовах.

Стандарт ДСТУ 4277–2004 передбачає визначення концентрації у відпрацьованих газах оксиду вуглецю (CO) і сумарної концентрації незгорілих вуглеводнів (CH) на двох режимах холостого ходу, встановлених підприємством-виробником: при мінімальній частоті обертання колінчастого вала  $n_{xxmin}$  і при підвищеній частоті

$n_{\text{ххпідв}}$ . Якщо значення цих частот не встановлено підприємством-виробником у технічних умовах, то випробування виконують при  $n_{\text{ххmin}} = 800 \pm 100 \text{ хв}^{-1}$  і  $n_{\text{ххпідв}} = 2200 \pm 100 \text{ хв}^{-1}$ .

Перевірку показників токсичності відпрацьованих газів на режимі з  $n_{\text{ххпідв}}$  проводять тільки для автомобілів з іскровим запалюванням. Вимірювання концентрацій СО і СН у відпрацьованих газах виконують на нерухомому автомобілі при прогрітому двигуні.

Гранично-допустимі концентрації СО і СН у відпрацьованих газах бензинових двигунів без нейтралізаторів відпрацьованих газів наведені у табл. 5.9, а з нейтралізаторами – у табл. 5.10.

Для визначення концентрацій СО і СН у відпрацьованих газах необхідно використовувати газоаналізатори, які працюють за принципом інфрачервоної спектроскопії і мають постійну часу, що не перевищує 30 с.

Таблиця 5.9 – Граничні концентрації СО і СН у відпрацьованих газах автомобілів з бензиновими двигунами без нейтралізаторів за ДСТУ 4277–2004

Частота обертання	Об'ємна частка СО, %	Концентрація СН, млн <sup>-1</sup>	
		кількість циліндрів ≤ 4	кількість циліндрів > 4
$n_{\text{ххmin}}$	3,5 (4,5 для автомобілів, вироблених до 01.10.1986 р.)	1200	2500
$n_{\text{ххпідв}}$	2,0	600	1000

Газоаналізатор СО для вимірювань за ДСТУ 4277–2004 повинен відповідати таким вимогам:

- шкала СО має бути градуйована за допомогою бінарної суміші СО з повітрям або азотом у об'ємних частках;
- основна абсолютна похибка газоаналізатора для діапазону 0-5 % не повинна перевищувати  $\pm 0,25$  %;
- основна абсолютна похибка газоаналізатора, виготовленого після 01.01.2005 р. не повинна перевищувати  $\pm 0,05$  % для діапазону вимірювань 0-1 % та  $\pm 0,2$  % для діапазону 0-5 %.

Таблиця 5.10 – Граничні концентрації (об’ємні частки) CO і CH у відпрацьованих газах автомобілів з бензиновими двигунами та з нейтралізаторами

Частота обертання	Автомобілі з окиснювальним нейтралізатором		Автомобілі з трикомпонентним нейтралізатором	
	CO, %	CH, млн <sup>-1</sup>	CO, %	CH, млн <sup>-1</sup>
n <sub>ххmin</sub>	1,0	600	0,5	100
n <sub>ххпов</sub>	0,6	300	0,3	100

Газоаналізатор CH для вимірювань за ДСТУ 4277–2004 повинен відповідати таким вимогам:

- шкала CH має бути градуйована за допомогою бінарної суміші пропану з азотом в об’ємних частках гексану на мільйон;
- основна абсолютна похибка газоаналізатора не повинна перевищувати  $\pm 50$  млн<sup>-1</sup> для діапазону вимірювань 0-1000 млн<sup>-1</sup> та  $\pm 500$  млн<sup>-1</sup> для діапазону 0-10000 млн<sup>-1</sup>;
- для газоаналізаторів, вироблених після 01.01.2005 р., основна абсолютна похибка не повинна перевищувати  $\pm 50$  млн<sup>-1</sup> для діапазону 0-1000 млн<sup>-1</sup> та  $\pm 150$  млн<sup>-1</sup> для діапазону 0-3000 млн<sup>-1</sup>.

Основна абсолютна похибка тахометрів для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигуна під час випробувань для газоаналізаторів, вироблених після 01.01.2005 р., не повинна перевищувати  $\pm 20$  хв<sup>-1</sup> для діапазону 0-1000 хв<sup>-1</sup> та  $\pm 100$  хв<sup>-1</sup> для діапазону 0-5000 хв<sup>-1</sup>.

Необхідно зазначити, що перевірка показників токсичності відпрацьованих газів автомобіля з бензиновим двигуном на режимах холостого ходу не визначає загального рівня його токсичності. Одержані показники можуть лише опосередковано характеризувати технічний стан двигуна.

## 5. Визначення параметрів шуму

Внутрішнім шумом називають шум, який виникає в салоні автомобіля при його русі або стоянці з працюючим двигуном.

Зовнішнім шумом називають шум, який створює автомобіль у навколишньому середовищі.

Нормованим показником є рівень зовнішнього шуму від автомобіля, що рухається.

Визначення шуму від автомобіля, що рухається, за правилами 84/424/ЄЕС здійснюють на окремій ділянці шосе. Автомобіль рухається від точки А в напрямку точки В (рис. 5.13). Загальна довжина мірної ділянки – 20 м. У точці Б, яка знаходиться на середині мірної ділянки, автомобілю дають максимально можливе прискорення – «повний газ». Мікрофон для визначення рівня шуму встановлюється у точці М, що знаходиться на відстані 7,5 м від середньої лінії проїжджої частини (тобто точки Б) і є рівновіддаленою від точок А і В.

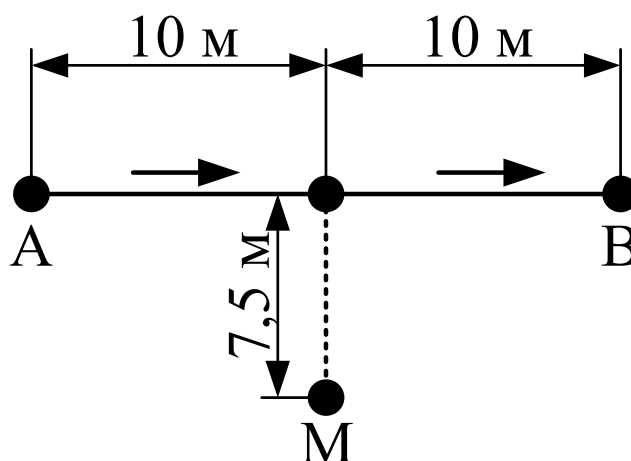


Рисунок 5.13 – Схема організації руху автомобіля та розташування мікрофона при визначенні рівня зовнішнього шуму

За рівень шуму приймають максимальне значення рівня звукового тиску, зареєстроване приладом.

Автомобілі з 4-ступінчастими механічними коробками передач випробують на другій передачі. При кількості передач переднього ходу п'ять і більше рух автомобіля здійснюють послідовно на другій, а потім третій передачах, а за рівень шуму приймають серед-



ньюарифметичне значення обох одержаних максимальних рівнів шуму.

Граничні рівні шуму автомобілів, що рухаються, наведено у табл. 5.11.

Таблиця 5.11 – Граничні рівні зовнішнього шуму автомобілів, дБ

Тип транспортного засобу	Рівень шуму, дБ
Легкові автомобілі	
з двигуном примусового запалювання	74 <sup>+1</sup>
з дизельним двигуном	75 <sup>+1</sup>
Вантажні автомобілі максимальною масою понад 3,5 т	
з двигуном потужністю до 75 кВт	77 <sup>+1</sup>
з двигуном потужністю до 150 кВт	78 <sup>+1</sup>
з двигуном потужністю понад 150 кВт	80 <sup>+1</sup>

Рівень звукового тиску від транспортного засобу, який не рухається, вимірюють у точці, розташованій на висоті зрізу вихлопної труби, на відстані 0,5 м від нього під кутом 45° до напрямку виходу газів.

При вимірюванні рівня шуму частоту обертання колінчастого вала на режимі холостого ходу доводять до 75 % від частоти, на якій досягається номінальна потужність двигуна. Після встановлення сталої частоти педаль управління органом регулювання подачі палива переводять у положення мінімальної частоти обертання колінчастого вала. Від початку перехідного процесу фіксують максимальне значення рівня звукового тиску.

Рівень внутрішнього шуму не нормують. У разі потреби його вимірюють у наступних точках: на рівні вуха водія і на рівні вуха пасажира. При вимірюваннях автомобіль має рухатися з постійною швидкістю 60 км/год або 40 % від максимально можливої швидкості.

## Контрольні запитання

1. Наведіть структури комплексу стандартів для випробувань на токсичність відпрацьованих газів різних типів автомобілів і двигунів.

2. Наведіть принципову схему стенду з біговими барабанами. Опишіть принцип його роботи.

3. Які види випробувальних циклів ви знаєте?

4. Які норми токсичності відпрацьованих газів автомобілів та автомобільних двигунів зараз є найбільш поширеними у світі? Опишіть ці норми.

5. Наведіть принципову схему гальмівного стенду. Опишіть принцип його роботи.

6. Що використовують в якості навантажувальних пристроїв в гальмівних стендах?

7. Як виконується випробування дизеля на режимі вільного прискорення?

8. Опишіть методику вимірювання рівня шуму, що створюється автомобілем.

# ТЕМА «ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЯ НА ЙОГО ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ»

## Лекція 6

1. Залежність складу відпрацьованих газів автомобільних двигунів від типу двигуна.
2. Причини збільшення викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами ДВЗ, обумовлені погіршенням технічного стану автомобіля.

1. Залежність складу відпрацьованих газів автомобільних двигунів від типу двигуна.

Склад відпрацьованих газів двигунів з примусовим запалюванням (карбюраторних, інжекторних, газових) та дизелів відрізняється. Це пояснюється наступними причинами:

- різними значеннями коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  (у двигунах з примусовим запалюванням  $\alpha \approx 0,75 \dots 1,1$ ; в дизелях  $\alpha \approx 1,4$  і більше);
- різним складом (елементним і груповим) палива, різними фізичними і хімічними характеристиками палива;
- різними умовами сумішоутворення та згорання;
- різними способами регулювання двигуна.

Орієнтовні значення концентрацій різних речовин у відпрацьованих газах бензинового двигуна з примусовим запалюванням і дизеля наведено у табл. 6.1.

2. Причини збільшення викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами ДВЗ, обумовлені погіршенням технічного стану автомобіля.

Несправності та порушення регулювань окремих механізмів, систем і вузлів автомобіля в цілому та автомобільного двигуна зокрема призводять у більшості випадків до погіршення показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів.

Таблиця 6.1 – Приблизні концентрації компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ

Речовина	Тип двигуна	
	з примусовим запалюванням	дизель
–	% за об'ємом	
азот	74 – 77	76 – 78
кисень	0,2 – 8,0	2 – 18
водяна пара	3,0 – 13,5	0,5 – 10,0
діоксид вуглецю	5,0 – 12,0	1,0 – 12,0
вуглеводні	0,3 – 3,0	0,01 – 0,5
оксид вуглецю	0,1 – 10	0,01 – 0,3
оксиди азоту	0,0 – 0,6	0,005 – 0,2
альдегіди	0,0 – 0,2	0,0 – 0,05
–	мг/м <sup>3</sup>	
оксиди сірки	0,0 – 0,003	0,0 – 0,015
сажа	0 – 100	0 – 2000
бенз(а)пірен	0 – 25	0 – 10
сполуки свинцю	0 – 60	–

За впливом на характер процесів, які обумовлюють появу шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобільного двигуна, всі несправності та порушення регулювань можна поділити на дві основні групи:

- такі, що безпосередньо впливають на процес згоряння палива в двигуні (це несправності власне двигуна та його систем);
- такі, що потребують збільшення витрати палива, що, в свою чергу, спричиняє збільшення викидів шкідливих речовин (це переважно несправності трансмісії, ходової частини, гальм, шин).

Типові порушення в двигунах з іскровим запалюванням, які призводять до збільшення викидів шкідливих речовин, виникають в системі запалювання, в системі живлення або в механізмах двигуна.

У системі запалювання можливі такі типові порушення:

- часткова чи повна відмова свічок запалювання (порушення встановленого зазору між електродами, відкладення нагару на електродах та ізоляторі, пошкодження ізолятора);

- відхилення кута випередження запалювання від норми;
- погіршення стану переривача-розподільвача (обгоряння або забруднення контактів, порушення встановлених зазорів, несправності автомату зміни кута випередження запалювання).

У системі живлення карбюраторного двигуна можливі такі типові порушення:

- відхилення від норми рівня бензину в поплавковій камері карбюратора внаслідок зменшення щільності голчастого клапана або розгерметизації поплавця;

- забруднення або зношення паливних та повітряних жиклерів;

- порушення щільності клапана економайзера;

- порушення регулювань приводу економайзера, що спричиняє раннє або запізнє його включення;

- порушення регулювань насоса-прискорювача (як збільшення, так і зменшення подачі палива насосом-прискорювачем призводить до перевитрати палива двигуном);

- порушення регулювань системи холостого ходу;

- забруднення фільтрів тонкого очищення палива;

- забруднення повітряного фільтра.

В інжекторному двигуні порушення у системі живлення в основному пов'язані з несправністю датчиків системи управління подачею палива, форсунок або клапана зворотної подачі палива.

Можливим є також зношування циліндро-поршневої групи та (або) порушення герметичності клапанів. Це призводить до зменшення компресії, втрати частини свіжого заряду на такті стискання, надмірного надходження масла з поверхні гільзи циліндра у камеру згоряння з подальшим його частковим згорянням і розкладенням. Останнє призводить до збільшення викидів у повітря вуглеводнів, сажи та канцерогенних речовин.

Масло також може потрапляти у камеру згоряння внаслідок зношування ущільнюючих елементів клапанів (насамперед впускних), направляючих втулок і стрижнів клапанів.

Інколи внаслідок порушення працездатності системи регулювання температури у системі охолодження (як правило – з-за відмови термостата) двигун працює зі зменшеною температурою охолоджувальної рідини. Це призводить до підвищених втрат потужності на подолання сил тертя у циліндро-поршневій групі і до збільшення витрати палива. Одночасно внаслідок зменшеної температури стінок і кришки циліндра біля них погіршуються умови для згоряння палива, а це, у свою чергу, спричиняє збільшення викидів вуглеводнів, альдегідів, твердих частинок.

На рис. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 наведено діаграми, які показують вплив різних порушень на відносне збільшення викидів оксиду вуглецю  $CO$ , вуглеводнів  $CH$ , оксидів азоту  $NO_x$ , а також на відносну перевитрату палива  $B$ . Наведені на цих рисунках дані є орієнтовними і дають уявлення про максимально можливі межі зміни показників токсичності та витрати палива.

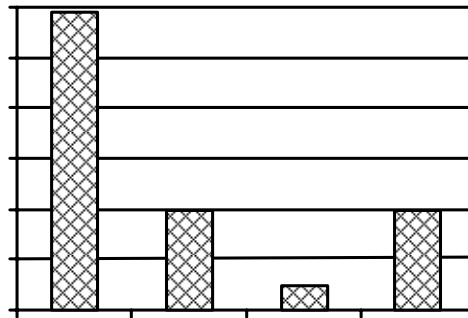


Рисунок 6.1 – Вплив порушень регулювань карбюратора

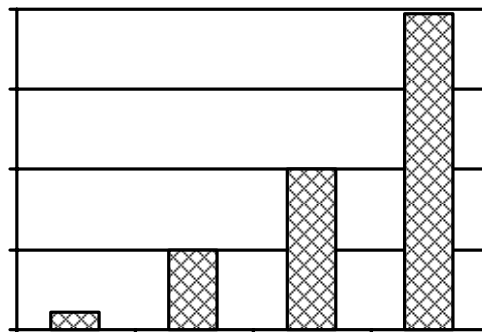


Рисунок 6.2 – Вплив порушень кута випередження запалювання

%  
250  
200  
150

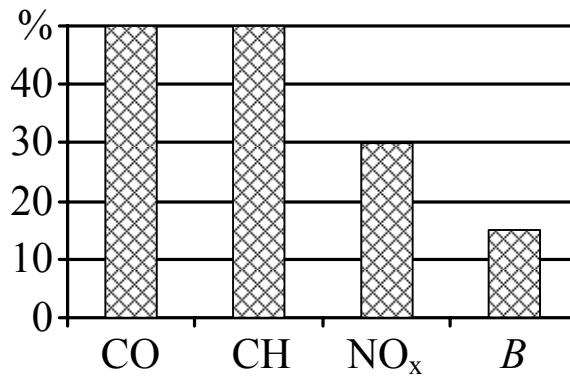


Рисунок 6.3 – Вплив зношення циліндрово-поршневої групи

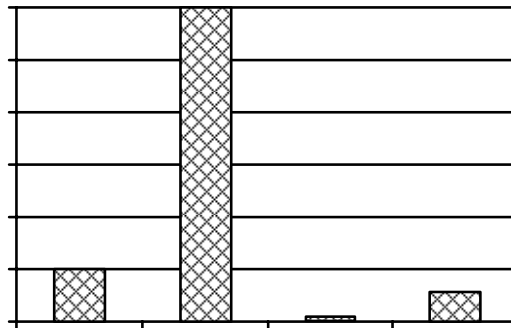


Рисунок 6.4 – Вплив несправностей системи запалювання

Із рис. 6.1 можна бачити, що порушення регулювань карбюратора (насамперед системи холостого ходу і головної дозуючої системи) впливають на коефіцієнт надлишку повітря, а через це – на утворення CO, CH, NO<sub>x</sub> і витрату палива. Такий самий ефект спричиняє недостатня щільність клапана економайзера, що може призвести до непотрібного збагачення робочої суміші на режимах часткових навантажень. У випадках, коли вантажний автомобіль з карбюраторним двигуном експлуатується виключно в межах міста, повна потужність двигуна не реалізується і економайзер у роботу не вступає. Тоді для гарантованого запобігання підкапання клапана економайзера його можна заглушити. Це дозволить зменшити витрати пального, а також викиди CO та CH.

Кут випередження запалювання (рис. 6.2) на сталих режимах практично не впливає на процеси утворення CO та CH.

500  
400  
300  
200  
100  
0

двигуна, але значно впливає на емісію оксидів азоту. Відхилення кута випередження запалювання від оптимального знижує потужність двигуна, що вимагає збільшення подачі палива. В результаті збільшуються об'єм відпрацьованих газів і масові викиди CO.

Зношування циліндрово-поршневої групи призводить до збільшення викидів вуглеводнів (рис. 6.3), зокрема вуглеводнів із канцерогенними властивостями. Це обумовлено потраплянням масла в камеру згоряння і підвищеною витратою картерних газів у замкненій системі вентиляції картера. До досягнення граничного зношування двигуна викиди збільшуються в середньому на 50 %, а витрата палива – на 15 %. Заміна поршневих кілець після вироблення граничного ресурсу деякою мірою відновлює середній рівень токсичності дизеля.

У разі виникнення перебоїв у запалюванні, навіть у одному з циліндрів (рис. 6.4) у 6...8 разів збільшуються викиди вуглеводнів, однак інші циліндри працюватимуть при більшому відкритті дросельної заслінки, суміш буде згоряти більш ефективно, з меншим викидом CO на режимах холостого ходу і малих навантажень, частка яких у їздовому циклі велика. Цей факт свідчить також про необхідність при контролі технічного стану двигунів за токсичністю визначати концентрації не тільки оксиду вуглецю, але й вуглеводнів.

При виникненні несправностей у двигуні концентрація оксидів азоту, як правило, зменшується через порушення процесу згоряння, але масові викиди можуть зрости внаслідок збільшення кількості спаленого палива. На практиці можуть виникнути кілька несправностей і порушень регулювань одночасно, що значно погіршує показники токсичності та паливної економічності автомобіля.

Завдання спеціалістів, які займаються експлуатацією автомобільного транспорту, полягає у своєчасному виявленні та усуненні причин, які призводять до погіршення техніко-економічних та екологічних характеристик двигунів, обумовлених порушеннями регулювань систем двигуна та зношуванням основних деталей.

В наш час розвиток двигунів з іскровим запалюванням йде у напрямку застосування систем впорскування палива у впускний колектор або безпосередньо у циліндри у поєднанні з мікропроцесорним регулюванням складу робочої суміші зі зворотним зв'язком за



сигналом від датчика концентрації кисню ( $\lambda$ -зонду) у випускній системі.

Головною екологічною перевагою систем упорскування з датчиком концентрації кисню перед карбюраторними двигунами є можливість застосування трикомпонентного нейтралізатора відпрацьованих газів, який одночасно зменшує викиди CO, CH, NO<sub>x</sub>.

Двигуни із системами впорскування насичені великою кількістю датчиків та виконавчих механізмів і мають складний електронний блок керування. Порушення регулювань одного з елементів системи призводить до збільшення викидів шкідливих речовин.

Крім порушень у системі запалювання, а також ефектів від зношування циліндрово-поршневої групи та деталей системи газообміну, у двигунах із впорскуванням можуть виникати порушення, спричинені виходом з ладу датчиків:

- кисню;
- витрати повітря;
- положення дросельної заслінки;
- температури рідини у системі охолодження;
- детонації.

Можливим є також порушення у роботі таких агрегатів:

- нейтралізатор (відхилення від оптимального температурного режиму, отруєння сполуками свинцю, сірки, силіконами);
- паливні форсунки (забруднення, зношування, пошкодження проводів);
- повітряний фільтр;
- адсорбер, що адсорбує пару бензину із впускного колектора і бензобака (якщо такий адсорбер встановлено);
- мікропроцесор, який керує роботою всієї системи впорскування.

Збільшення кількості елементів, вихід із ладу яких може призвести до збільшення викидів токсичних речовин, не є підставою для відмови від сучасних систем паливоподачі. Рациональним є підхід, який передбачає збільшення надійності вказаних елементів, розвиток системи їх діагностування, технічного обслуговування та ремонту.

У дизелях практично кожна несправність паливної системи і системи повітропостачання впливає на склад і димність

відпрацьованих газів. Типовими несправностями цих системи дизелів є:

- коксування або обгоряння соплових отворів форсунки;
- збільшення понад норму нерівномірності циклової подачі палива по циліндрах;
- відхилення кута випередження впорскування від оптимального значення;
- порушення герметичності паливопроводів;
- зношування пари голка-розпилювач, зменшення пружності пружини форсунки;
- зависання голки форсунки;
- зниження ККД турбокомпресора і зменшення тиску наддування;
- засмічення повітряного фільтра;
- зниження ефективності охолоджувача наддувного повітря внаслідок забруднення зовнішньої поверхні.

У дизелях практично неможливо забезпечити абсолютно однакову подачу палива в усі циліндри, причому зі зменшенням навантаження різниця в циклових подачах по циліндрах збільшується. Так, у восьмициліндровому дизелі з блочним паливним насосом високого тиску при регулюванні на стенді припустимою є така різниця в подачах окремих секцій:

- 3 % на режимі номінальної подачі;
- 40 % на режимі холостого ходу.

Реально різниця подач палива по циліндрах у двигунів, які знаходяться в експлуатації, внаслідок зношування та порушення регулювань може бути у кілька разів більшою.

Збільшення циклової подачі палива понад номінальну на 25 % збільшує димність відпрацьованих газів на 40 %. У результаті природного зношування деталей паливної апаратури до моменту вироблення граничного ресурсу двигуна витрата палива збільшується на 8...10 %, димність – на 20...30 одиниць за шкалою Хартриджа.

Відхилення від оптимального температурного режиму системи охолодження у дизелях, а також зношування деталей циліндрово-поршневої групи спричиняють такі самі ефекти, як і в двигунах з іскровим запалюванням.

Кваліфіковане технічне обслуговування паливної апаратури знижує токсичність дизеля до 30 %, забезпечує дозволений рівень димності.

На рис. 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 наведено діаграми, які показують вплив різних порушень (регулювань паливної апаратури, кута випередження впорскування палива, спрацювання циліндрово-поршневої групи, порушень у роботі системи повітропостачання) на відносне збільшення викидів оксиду вуглецю CO, вуглеводнів CH, оксидів азоту NO<sub>x</sub>, димності відпрацьованих газів *K*, а також на відносну перевитрату палива *B*. Можна зробити висновок, що всі несправності та відхилення від оптимальних регулювань призводять до значного збільшення димності відпрацьованих газів. Таким чином, димність є найбільш наочним показником технічного стану двигуна.

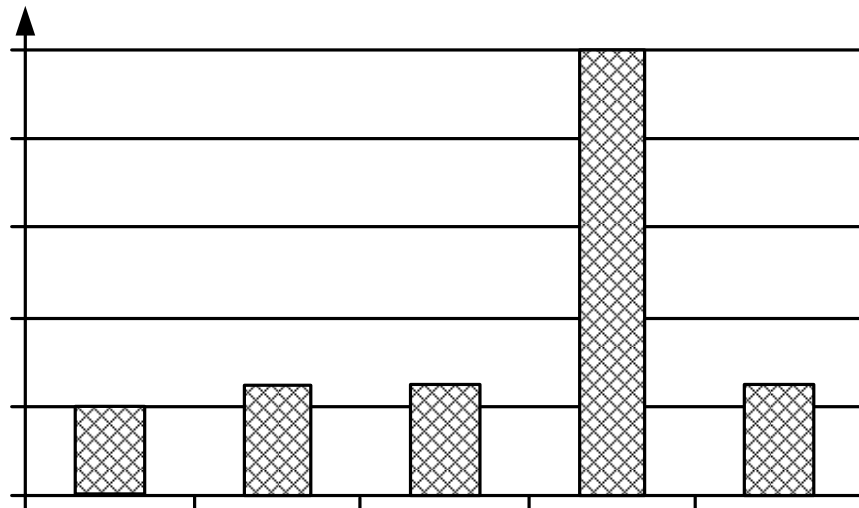


Рисунок 6.5 – Вплив порушень регулювань паливної апаратури на збільшення токсичності дизельного двигуна

%

80

60

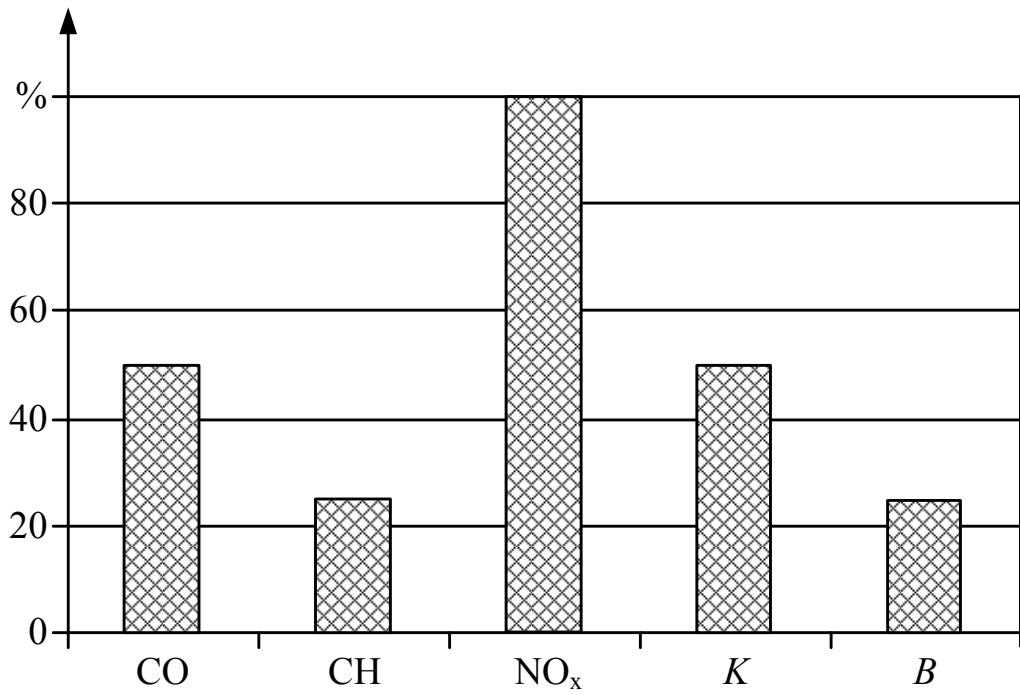


Рисунок 6.6 – Вплив порушень кута випередження впорскування палива на збільшення токсичності дизельного двигуна

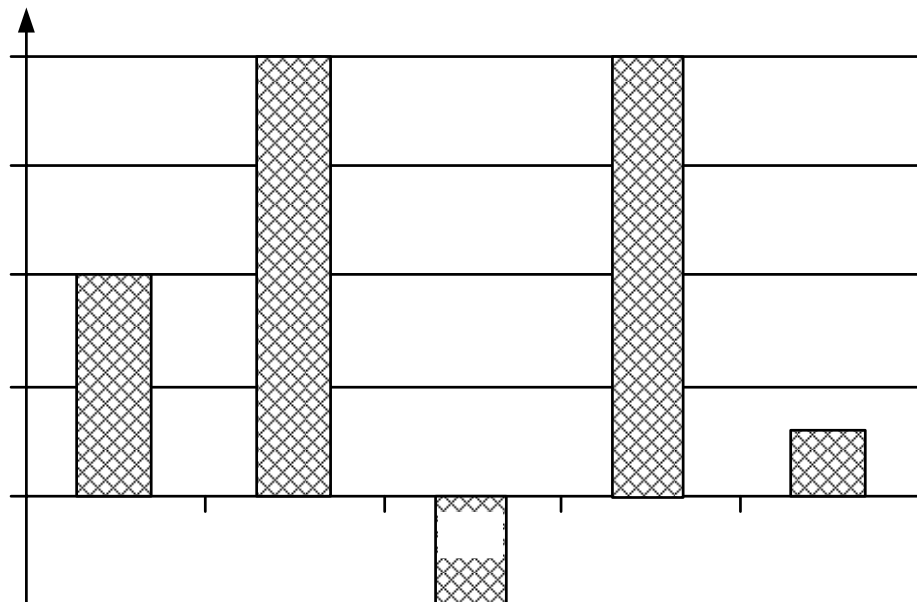


Рисунок 6.7 – Вплив спрацювання двигуна на збільшення його токсичності

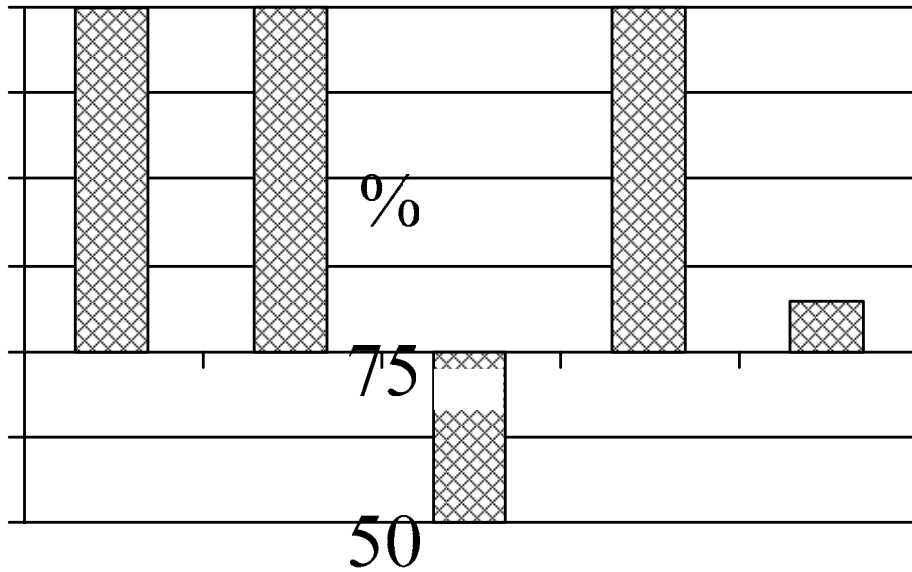


Рисунок 6.8 – Вплив несправностей системи повітропостачання на збільшення токсичності дизельного двигуна

При деяких порушеннях нормального процесу згоряння одночасно зі збільшенням викидів оксиду вуглецю та вуглеводнів можуть зменшуватися викиди оксидів азоту. Це відбувається тоді, коли зменшується коефіцієнт надлишку повітря або погіршується якість процесу сумішоутворення. Так, при зношенні циліндрово-поршневої групи (рис. 6.7) внаслідок втрат частини заряду при стисканні зменшується маса свіжого заряду в циліндрі, а також температура повітря наприкінці процесу стискання. Обидва наведені фактори спричиняють зменшення викидів оксиду азоту при одночасному збільшенні викидів продуктів неповного згоряння.

Порушення у системі повітропостачання також призводять до зменшення коефіцієнта надлишку повітря і, як наслідок, збільшення викидів продуктів неповного згоряння при одночасному зменшенні викидів оксидів азоту.

Усі несправності або порушення регулювань автомобіля, що спричиняють збільшення витрати палива, опосередковано впливають на зальну кількість шкідливих речовин, які викидає у повітря автомобільний двигун. Несправності трансмісії і ходової частини автомобіля збільшують споживану потужність двигуна та витрату палива. Це автоматично призводить до збільшення викидів шкідливих речовин.

Перелік несправностей автомобіля, які за статистикою найчастіше зустрічаються, а також ступінь їх впливу на перевитрату палива, наведено у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Несправності вантажного автомобіля, що викликають перевитрату палива

Вид несправності	Перевитрата палива, %
Зниження тиску повітря в шинах високого тиску на 0,1 МПа	до 10
Надмірне затягування гальм	до 20
Надмірне затягування підшипників маточин коліс	до 10
Порушення збіжності керованих коліс більш ніж на 2...4 мм	до 6
Перекіс заднього моста	до 15
Застосування високов'язких мастил у трансмісії	до 8
Збільшення повітряного опору при установці додаткових щитів, м'яких тентів, фартухів	до 15

На перевитрату палива і пов'язане з нею опосередковане збільшення викидів шкідливих речовин інколи значною мірою впливають такі непрямі фактори, як манера водія вести машину, стан дорожнього покриття, організація руху транспорту.

Доведено, що у випадку спокійної їзди без різких прискорень і гальмувань експлуатаційна витрата палива автомобілем зменшується до 15...20 %, а відповідно зменшуються і загальні викиди шкідливих речовин. Це обумовлено кількома причинами.

На режимах прискорення у карбюраторних двигунах насос-прискорювач впорскує додаткову порцію бензину у дифузор карбюратора, що спричиняє перевитрату палива, збільшення викидів CO та CH.

На режимах примусового холостого ходу карбюраторних двигунів, які не обладнані економайзерами примусового холостого ходу, внаслідок глибокого дроселювання заряду на впуску значно збільшується коефіцієнт залишкових газів, що погіршує умови згоряння і спричиняє збільшення викидів вуглеводнів та оксиду вуглецю.

У дизелях із турбонаддувом на початку прискорення відбувається різке (за долю секунди) збільшення циклової подачі палива, а частота обертання ротора турбокомпресора зростає значно повільніше і лише через деякий час (за кілька секунд) компресор створює необхідний тиск повітря у впускній системі. Увесь цей час двигун працює при низьких значеннях коефіцієнта надлишку повітря ( $\alpha \leq 1$ ), що супроводжується різким збільшенням викидів сажових частинок і вуглеводнів.

Спокійна їзда також позитивно впливає на безпеку руху, інтенсивність зношування трансмісії автомобіля, гальм, шин. Тому керівний склад автотранспортних підрозділів має проводити роз'яснювальну та виховну роботу, спрямовану на формування у водіїв навичок раціонального керування автомобілем у різних умовах.

Зменшенню витрат палива, і відповідно викидів шкідливих речовин, сприяє рух з мінімальною кількістю перемикань передач і зупинок біля світлофорів.

Зміна параметрів стану навколишнього середовища впливає на показники паливної економічності автомобіля та токсичності його відпрацьованих газів як безпосередньо, через вплив на характеристики процесу згоряння палива у двигуні, так і опосередковано, через зміну витрати палива внаслідок зміни витрат у трансмісії автомобіля.

Узимку виникає необхідність достатньо тривалого (5...10 хв) прогрівання двигуна після холодного пуску. Для стабільної роботи холодного двигуна він повинен працювати на збагаченій суміші з  $\alpha = 0,75...0,85$ . У карбюраторних двигунів збагачення досягається шляхом прикриття повітряної заслінки карбюратора, у інжекторних – шляхом збільшення подачі палива форсункою.

У карбюраторному двигуні по внутрішніх стінках впускного колектора рухається бензинова плівка. В умовах, коли двигун холодний, ця плівка практично не випаровується і нерівномірно розподіляється по циліндрах. Це призводить до значного, у кілька разів, збільшення викидів вуглеводів на режимах прогрівання.

В інжекторних двигунах із розподіленням впорскуванням палива або впорскуванням безпосередньо у циліндри, проблем, які створює плівка, не існує, але у будь-якому випадку робота холодного двигуна з примусовим запалюванням на збагаченій суміші супрово-

джується підвищеними викидами оксиду вуглецю, вуглеводнів, альдегідів, твердих частинок.

Температура повітря впливає і на роботу прогрітого двигуна. Зменшення температури повітря призводить до збільшення його густини, тому взимку коефіцієнт надлишку повітря збільшується. Це спричиняє зменшення викидів СО прогрітим двигуном. Одночасно зі зменшенням температури зменшуються викиди оксиду азоту.

У разі зменшення температури навколишнього середовища, як правило, дещо зменшується температура рідини в системі охолодження, і більшість двигунів працюють у недостатньо прогрітому стані, що погіршує умови випаровування палива. Тому взимку навіть у прогрітих двигунів спостерігається збільшення викидів вуглеводнів з відпрацьованими газами.

У деяких двигунах для зменшення негативного впливу низької температури на показники токсичності та паливної економічності повітря взимку забирають із зони поблизу гарячого випускного колектора.

Збільшення температури навколишнього середовища призводить до зменшення густини повітря, що тягне за собою зменшення коефіцієнта надлишку повітря і збільшення викидів СО. На тягових режимах підвищення температури також спричиняє збільшення викидів оксиду азоту.

Крім зменшеної густини повітря збагаченню робочої суміші влітку сприяє підвищення температури (до + 70 °С) у поплавковій камері карбюратора. Унаслідок цього у поплавковій камері відбувається інтенсивне випаровування бензину, а далі пара бензину через балансувальний канал надходить до входу дифузора. Інтенсивне випаровування бензину призводить до незначного підвищення тиску у поплавковій камері. Це також спричиняє збільшення витрат бензину через паливні жиклери головної дозувальної системи та системи холостого ходу.

Таке збагачення суміші призводить до збільшення викидів оксиду вуглецю та вуглеводнів. Інтенсивне випаровування бензину з карбюратора після зупинки гарячого двигуна має негативні наслідки: атмосферне повітря забруднюється вуглеводнями; бензинова пара накопичується у впускному колекторі і утворює надмірно багату суміш, яка інколи робить неможливим подальший запуск гаря-



чого двигуна без продування циліндрів, а продування знову супроводжується підвищеними викидами вуглеводнів у навколишнє середовище.

Для виключення надмірного збагачення суміші в карбюраторному двигуні необхідно запобігти перегріванню паливних баків, паливопроводів, паливного насоса, карбюратора. Цього досягають шляхом захисту паливних баків від нагрівання сонячним випромінюванням, раціональною організацією руху повітря у моторному відсіку, встановленням теплоізолювальних прокладок під бензонасос і карбюратор, прокладанням бензопроводів у місцях, де їх нагрівання буде мінімальним.

Для зменшення викидів у повітря вуглеводнів встановлюють адсорбери, які адсорбують пару бензину із впускного колектора (а інколи і з бензобаку), коли двигун не працює. Потім при роботі до адсорбента підводять теплоту, відбувається процес десорбції і звільнена пара бензину подається у впускний колектор.

У дизелях безпосередній вплив зміни температури навколишнього середовища на процеси утворення шкідливих речовин обумовлений зміною:

- температури повітря наприкінці процесу стискання і, як наслідок, періоду затримки самозаймання та характеристик згоряння;
- густини повітря і, як наслідок, коефіцієнта надлишку повітря;
- в'язкості палива і, як наслідок, характеристик розпилювання, періоду затримки самозаймання, характеристик згоряння;
- температури рідини у системі охолодження і, як наслідок, зміною умов проходження хімічних реакцій поблизу стінок;
- елементного складу та властивостей палива (зимове, літнє) в залежності від пори року.

Зменшення температури повітря призводить до збільшення в'язкості палива, погіршення умов сумішоутворення та випаровування краплин. Наслідком цього є збільшення таких показників:

- період затримки запалювання;
- жорсткість процесу згоряння;
- викиди твердих частинок і вуглеводнів;
- димність відпрацьованих газів.

Одночасно внаслідок зниження температури заряду у циліндрі зменшуються викиди оксиду азоту.

Збільшення температури повітря викликає зменшення його густини і, як наслідок, зменшення коефіцієнта надлишку повітря при одночасному зростанні температури у циліндрі на початку впорскування палива. Це призводить до збільшення таких показників:

- максимальної температури згоряння;
- викидів оксиду азоту з відпрацьованими газами;
- димності відпрацьованих газів.

Зі зменшенням атмосферного тиску (наприклад, при роботі двигуна в гірських умовах) зменшується густина повітря. Тому масова витрата повітря зменшується, а з нею зменшується і максимальна потужність. На кожні 1000 м підйому вгору потужність двигуна зменшується на 10 %.

У карбюраторних двигунів, які не мають коректорів тиску атмосферного повітря (висотних коректорів), при зменшенні атмосферного тиску зменшується коефіцієнт надлишку повітря, тобто робоча суміш збагачується. На кожні 1000 м підйому вгору коефіцієнт надлишку повітря зменшується на 5...6 %. Зменшення коефіцієнта надлишку повітря спричиняє збільшення викидів оксиду вуглецю та вуглеводнів, але викиди оксиду азоту можуть при цьому зменшуватися.

Застосування висотних коректорів у двигунах з примусовим запалюванням дозволяє стабілізувати значення коефіцієнта надлишку повітря у разі зміни атмосферного тиску.

У дизелів зменшення тиску навколишнього середовища також спричиняє зменшення витрати повітря, маси свіжого заряду і коефіцієнта надлишку повітря. Це призводить до втрати потужності, збільшення викидів сажі та вуглеводнів, підвищення димності відпрацьованих газів. Зі зменшенням коефіцієнта надлишку повітря зростає загальний рівень температур циклу, а також тривалість процесу згоряння палива, що спричиняє перегрівання основних деталей циліндрово-поршневої групи і випускного клапана. Наслідком перегрівання є підсилене коксування масла та зношування двигуна. Далі починає діяти механізм впливу зношування циліндрово-поршневої групи на екологічні показники двигуна.

Атмосферне повітря – це завжди суміш сухого повітря та водяної пари, що має назву «вологе повітря». Кількість водяної пари, яка припадає на один кілограм сухого повітря, залежить від двох

параметрів: температури повітря та його відносної вологості  $\phi$ . Чим більше в одиниці об'єму вологого повітря буде водяної пари, тим менше буде власне повітря, а головне – кисню.

За умов постійної температури зі збільшенням  $\phi$  збільшується кількість водяної пари в суміші, а кількість власне повітря зменшується. Тому зі збільшенням  $\phi$  у двигунах усіх типів має місце зменшення коефіцієнта надлишку повітря, що супроводжується втратою потужності, перегріванням, а також збільшенням викидів шкідливих речовин.

Ефект одночасного впливу високої температури і відносної вологості повітря характерний для тропічних зон, коли при температурі до  $+45^{\circ}\text{C}$  відносна вологість може зростати до 100 %. У таких умовах потужність двигуна зменшується на 15 %, а викиди шкідливих речовин, насамперед вуглеводнів і сажі, збільшуються.

### **Контрольні запитання**

1. Чим пояснюється різниця у складі відпрацьованих газів дизеля і двигуна з примусовим запалюванням?
2. Які типові порушення у роботі системи запалювання спричиняють збільшення вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах двигуна?
3. Які типові порушення у роботі систем живлення двигунів з іскровим запалюванням спричиняють збільшення вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах?
4. Які типові порушення у роботі систем живлення та повітропостачання дизельних двигунів спричиняють збільшення вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах?
5. Як впливають параметри навколишнього середовища на токсичність відпрацьованих газів двигунів?

# ТЕМА «ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ»

## Лекція 7

1. Елементний склад моторних палив.
2. Типи вуглеводнів, що входять до складу моторного палива.
3. Вплив будови вуглеводнів на октанове число бензину і токсичність відпрацьованих газів.
4. Екологічні властивості альтернативних моторних палив.
5. Вплив якості моторного масла на токсичність відпрацьованих газів двигунів

### 1. Елементний склад моторних палив.

Традиційне моторне паливо – це суміш декількох вуглеводнів. Паливо за нормальних умов може перебувати у рідкому або газоподібному стані.

Елементний склад палива впливає на його властивості, а також на робочі процеси, техніко-економічні та екологічні показники двигуна. Під елементним складом розуміють масову частку певних хімічних елементів у паливі.

Елементний склад залежить від виду палива, складу сировини та технології його виготовлення. Тому склад різних палив одного призначення різний. Співвідношення між кількістю окремих елементів у складі палива визначає теплоту згоряння палива, склад і теплофізичні характеристики продуктів згоряння.

Орієнтовні дані щодо елементного складу деяких палив наведено у табл. 7.1

### 2. Типи вуглеводнів, що входять до складу моторного палива.

Крім нормальних вуглеводнів у вигляді витягнутого ланцюжка атомів вуглецю, існують також вуглеводні із розгалуженою будовою молекули, так звані ізомери нормальних вуглеводнів.

Наприклад, структура нормального насиченого вуглеводню, нормального гептану ( $C_7H_{16}$ ) – це ланцюжок із семи атомів вуглецю, з'єднаних між собою одинарним зв'язком (рис. 7.1).

Таблиця 7.1 – Елементний склад деяких палив, % за масою

Паливо	Вуглець	Водень	Кисень	Азот	Сірка
Бензин	85	15	0	0	<0,15
Дизельне	86...87	13	0	0	<0,5
Керосин	85...86	14	0	0	<1
Стиснутий природний газ	75	25	0	0,3	0
Скраплений нафтовий газ	82	18	0	0,5	<0,015
Мазут	85...88	11...12	0...0,2	0...0,3	0,5...2

Ізооктан ( $C_8H_{18}$ ) має розгалужену (ізомерну) будову (рис. 7.2).

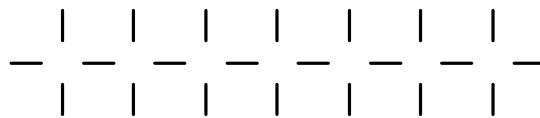


Рисунок 7.1 – Будова молекули нормального гептану

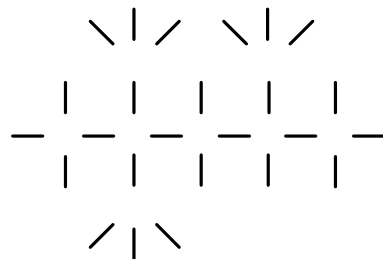


Рисунок 7.2 – Будова молекули ізооктану

Нормальні вуглеводні та їх ізомери мають однаковий елементний склад, але різні теплофізичні властивості. Через це наслідки їх використання у складі моторного палива будуть різними.

Моторні палива з нафти одержують двома способами: перегонкою та переробкою нафти.

1. Перегонка нафти. Після нагрівання і випарювання відбирають певні фракції, що використовують як моторне паливо. При цьому структура молекул вуглеводнів, що входять до складу нафти, не змінюється.

2. Переробка нафти. При цьому вуглеводні, які її утворюють, змінюють свою структуру, що дає можливість збільшити вихід бензину і дизельного палива.

Залежно від застосованої на нафтопереробному заводі технології переробки нафти молекулярний склад одержаних моторних палив буде різним.

Сучасні товарні бензини отримують шляхом змішування компонентів, отриманих шляхом прямої перегонки, крекінга, риформінгу, алкілування.

Найчастіше переробка бензину здійснюється методом каталітичного риформінгу з платиновим каталізатором (платформінгу). Залежно від умов його проведення змінюється вміст циклічних (ароматичних) вуглеводнів. При звичайному тепловому режимі вміст ароматичних вуглеводнів становить 35...45 %, при жорсткому тепловому режимі 60...70 %.

### 3. Вплив будови вуглеводнів на октанове число бензину і токсичність відпрацьованих газів.

Бензини є найбільш розповсюдженим паливом для ДВЗ із примусовим запалюванням робочої суміші. У цих двигунах процес сумішоутворення починається, як правило, за межами циліндра, у карбюраторі та (або) впускному колекторі. Є також двигуни, в яких впорскування бензину відбувається безпосередньо в циліндр на початку такту стискання. У будь-якому випадку в усіх цих двигунах у циліндрі стискається повітря з бензином. Наприкінці процесу стискання у певний момент ця суміш має бути підпалена (як правило, це роблять електричною іскрою).

Ефективність роботи двигуна визначається ступенем стиску  $\epsilon$ . Чим більше  $\epsilon$ , тим більше ККД циклу і менше питома витрата палива. Це обумовило провідну тенденцію у розвитку двигунів з примусовим запалюванням – збільшення  $\epsilon$ .

Однак зі збільшенням  $\epsilon$  збільшується температура наприкінці процесу стискання, що може призвести до передчасного samozapalювання (детонації) значної маси робочої суміші. Це samozapalювання має характер вибуху, який відбувається в зоні циліндра, найбільш віддаленій від свічки запалювання. При детонації у циліндрі виникають ударні хвилі великої інтенсивності. Детонація призводить до низки негативних явищ, а саме: перегрівання та інтенсивне зношування деталей циліндрово-поршневої групи, втрату потужності, підвищений викид вуглеводнів та сажі з відпрацьованими газами.

Отже, для карбюраторних та інших двигунів з примусовим запалюванням передчасне samozapalювання палива (детонаційне згоряння) вкрай небажане, тому що воно перешкоджає їх нормальній роботі. Тому для цих двигунів бажано використовувати паливо, яке має високу стійкість до детонації.

Показником стійкості палива до детонації є октанове число (ОЧ), яке визначають або за моторним, або за дослідницьким методом. Структура молекул вуглеводнів, які входять до складу палива, суттєво впливає на ОЧ.

Вуглеводні з розгалуженою схемою розташування атомів вуглецю (ізомери) мають високу стійкість до детонації. Так, високу стійкість має ізооктан. Його прийняли за еталон стійкості і присвоїли  $\text{ОЧ} = 100$ .

Вуглеводні нормальної будови з довгим витягнутим ланцюжком вуглецевих атомів (алкани) легко спалахують при стиску, їх ОЧ низьке. Практично нестійким до детонації є нормальний гептан. Його ОЧ прийняли за нуль.

Треба зазначити, що вуглеводні нормальної будови з коротким ланцюжком атомів вуглецю (наприклад метан, етан, пропан, бутан) мають високі ОЧ, навіть більше 100. Високі ОЧ мають також ароматичні вуглеводні. Так, ОЧ метану за дослідницьким методом дорівнює 120, пропану 112, бутану 94, метанолу 105,5.

Тому для карбюраторних двигунів оптимальним щодо забезпечення стійкості до детонаційного згоряння є паливо з максимальним вмістом вуглеводнів розгалуженої будови та ароматичних вуглеводнів, з мінімальним – вуглеводнів нормальної будови.

Якщо ОЧ бензину дорівнює, наприклад, 80, то це означає, що його детонаційна характеристика така сама, як у суміші, що складається з 80 % ізооктану і 20 % нормального гептану.

У паливах, які використовувалися раніше, був більшим вміст відносно легких фракцій вуглеводнів, які мають високу антидетонаційну стійкість. Крім того, для підвищення ОЧ у ці палива раніше додавали антидетонаційні присадки, наприклад етилову рідину.

У високооктанових автомобільних бензинах (АИ-93, АИ-95, АИ-98) підвищення ОЧ досягнуто за рахунок збільшеного (понад 70 %) вмісту важких ароматичних вуглеводнів – продуктів каталітичного риформінгу жорсткого режиму.

Зараз замість стандартів на бензини А-72, А-76, АИ-93, АИ-98 впроваджено нові стандарти на чотири марки неетилованого бензину: Нормаль-80, Регуляр-92, Супер-95, Супер-плюс-98. У цих бензинах обмежено вміст свинцю, заліза та марганцю, які потрапляли у бензин разом із антидетонаційними присадками.

Існує кілька механізмів впливу складу вуглеводнів палива на техніко-економічні та екологічні показники двигуна.

У багатоциліндрових карбюраторних двигунах на внутрішніх стінках впускного колектора з потоку, що виходить із карбюратора, осідають краплини бензину, які далі зливаються й утворюють плівку, яка тече у напрямку циліндрів. При цьому з плівки випаровуються переважно легкі фракції, а важкі можуть у вигляді рідкої фази потрапляти в окремі циліндри. Це призводить до неоднорідності паливо-повітряної суміші в циліндрах. Причому в кожному циліндрі різною буде як маса, так і склад палива.

При нерівномірному розподілі між циліндрами паливної плівки застосування бензинів із великим умістом ароматичних вуглеводнів сильно збільшує розходження у схильності до детонації кожного циліндра, тому що у «збагачені» циліндри надходять переважно високооктанові важкі фракції, у «збіднені» циліндри, де умови виникнення детонації виявляються сприятливішими, – більш легкі фракції, які мають мале ОЧ.



Бензини з високим умістом ароматичних вуглеводнів мають схильність до детонації при високих частотах обертання колінчастого валу двигуна, коли її важко виявити на слух.

Нерівномірність розподілу маси та складу палива по циліндрах призводить до втрат теоретично можливої потужності та перевитрати палива на 7...12 %.

При горінні у «збагачених» циліндрах ( $\alpha < 1,0$ ) важких ароматичних вуглеводнів утворюються канцерогенні речовини і сажові частинки, небезпечні для здоров'я людини.

Так, збільшення вмісту ароматичних вуглеводнів у бензині з 20 до 45 % підвищує концентрацію бенз( $\alpha$ )пірена у відпрацьованих газах двигунів приблизно у два рази.

Викид сажових частинок при горінні ароматичних вуглеводнів у кілька разів більший, ніж при горінні парафінових вуглеводнів з тією самою кількістю атомів вуглецю.

Збільшення концентрації ароматичних вуглеводнів у бензині з 20 до 45 % спричиняє збільшення викидів альдегідів із відпрацьованими газами на 70 %, а викидів  $\text{NO}_x$  – приблизно на 10 %.

Оскільки ОЧ зростає зі зменшенням числа атомів вуглецю в молекулах алканів нормальної будови, низькомолекулярні вуглеводні, до яких належать зріджені нафтові гази, є гарним паливом для карбюраторних двигунів.

Перспективним є також використання бензинів із низьким вмістом ароматичних вуглеводнів і добавками метану або метанолу.

Процес сумішоутворення в дизелях починається із впорскування палива у циліндр (камеру згоряння) наприкінці такту стискування. Температура повітря в циліндрі має бути більшою, ніж температура самозаймання палива. Проте паливо, яке потрапляє в циліндр, починає горіти не миттєво. Від моменту, коли перші порції палива потрапляють у гаряче повітря, до моменту, коли починається видиме згоряння, проходить деякий час (так званий період затримки запалювання). За цей час краплини палива прогріваються і частково випаровуються. Парова фаза у результаті турбулентної дифузії змішується з повітрям. Унаслідок високої температури відбувається дисоціація молекул парової фази палива з утворенням активних радикалів. І тільки після цього починається власне реакція окиснення, тобто горіння. Увесь час, поки триває період затримки запалювання,

відбувається подача палива крізь розпилювач форсунки в циліндр. Таким чином, з моменту початку впорскування до моменту початку горіння в циліндрі накопичується певна кількість рідкого палива та його пари.

Після того, як займеться хоча б незначна кількість пари, починається ланцюгова реакція горіння тієї пари, яка вже є в циліндрі. Ця реакція відбувається з прискоренням і супроводжується виділенням значної кількості теплоти. Чим більше палива та пари накопичується в циліндрі за період затримки запалювання, тим більш інтенсивним, жорстким буде процес згорання. Надто жорстке згорання призводить до підвищення навантаження на основні деталі циліндрово-поршневої групи, потребує збільшення міцності і відповідно ваги деталей, обумовлює підвищений рівень шуму дизелів. Тому для дизелів бажано застосовувати такі палива, які будуть легко самозайматися у гарячому повітрі.

Чим легше самозаймається паливо, тим менша його маса буде накопичена за період затримки запалювання, тим більш керованим і менш жорстким буде процес згорання. Тому для дизелів найбільш прийнятним є паливо, яке легко самозаймається.

Здатність до самозаймання вуглеводнів залежить від їх будови та молекулярної ваги.

Чим більше молекулярна вага і чим довший ланцюжок атомів вуглецю в молекулі, чим більше в ній число груп  $\text{CH}_2$ , тим легше відбувається самозаймання паливо-повітряної суміші.

Високу здатність до самозаймання в умовах циліндра дизеля має вуглеводень нормальної будови – цетан ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ), низьку здатність – альфаметилнафталін ( $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{CH}_3$ ).

Для співставлення різних видів палив уведено цетанове число.

Цетанове число (ЦЧ) палива – це процентний вміст (за обсягом) цетану в суміші з алфаметилнафталіном, яка має таку саму здатність до самозаймання в циліндрі дизеля, як і паливо, що розглядається.

Вітчизняні дизельні палива мають ЦЧ у межах 40 – 55.

ЦЧ – найважливіший показник дизельних палив, що характеризує його схильність до термічного розпаду, окиснювання і самозаймання у циліндрі двигуна, тобто визначає період затримки запалювання. Температура самозаймання дизельного палива літнього,

марки "Л" – 310 °С, зимового, марки "З" – 240 °С, арктичного, марки "А" – 230 °С.

Збільшення у дизельному паливі частки вуглеводнів, які легко розпадаються і мають високу схильність до самозаймання, а такі палива мають більше ЦЧ, призводить до зменшення викидів окисів азоту з відпрацьованими газами. Це пояснюється тим, що зменшується період затримки запалювання, паливо згоряє повільніше і меншим буде темп підвищення температури продуктів згоряння, саме від рівня температури залежать швидкості реакцій утворення оксидів азоту.

Одночасно з цим поліпшуються умови для більш повного згоряння палива у відкритих камерах згоряння, тому спостерігається зниження димності відпрацьованих газів і викиду СН і СО.

Збільшення ЦЧ також призводить до зменшення шуму від процесу згоряння, що обумовлено повільнішим збільшенням тиску у циліндрі.

Не завжди збільшення ЦЧ має позитивні наслідки для показників двигуна. У випадку, коли це забезпечено за рахунок більшого вмісту ароматичних вуглеводнів, у швидкохідних дизелях із розділеними камерами згоряння (вихровими камерами і передкамерами) збільшується димність відпрацьованих газів та викиди твердих частинок. Це обумовлено тим, що ароматичні вуглеводні в умовах високих температур і дефіциту кисню у вихровій камері схильні до утворення сажових частинок.

Вітчизняні дизельні палива мають ЦЧ = 45 – 50.

У країнах ЄЕС застосовують дизельне паливо з ЦЧ = 50, в Японії з ЦЧ = 58.

При ЦЧ < 40 зростає жорсткість процесу згоряння.

При ЦЧ > 55 унаслідок уповільнення процесу вигорання палива погіршується економічність двигуна, збільшується димність відпрацьованих газів і викиди канцерогенних речовин.

Наявність сірки у дизельному паливі спричиняє появу у продуктах згоряння сульфатів, які у вигляді твердих частинок викидаються в атмосферу разом із відпрацьованими газами. Зараз в Україні та Росії нафтопереробні заводи випускають дизельне паливо із вмістом сірки 0,2 % і 0,5 %. У країнах ЄЕС використовують паливо із вмістом сірки 0,05 %, тобто на порядок менше.

Як уже зазначалося, при згорянні ароматичних вуглеводнів виникають умови для утворення канцерогенних речовин. Тому зменшення кількості таких вуглеводнів у дизельному паливі сприяє зменшенню викидів бенз( $\alpha$ )пірену та інших канцерогенних речовин з відпрацьованими газами. У країнах Євросоюзу вміст ароматичних вуглеводнів у дизельному паливі не перевищує 20 %, а у вітчизняних паливах він не регламентований і може сягати 40 %. Тому, коли порівнюють показники токсичності відпрацьованих газів автомобілів різних країн і фірм, варто з'ясувати, яке паливо було використано при експериментальному визначенні цих показників.

Резервом поліпшення екологічних показників автомобільних двигунів є використання більш якісних традиційних палив або перехід на альтернативні палива.

У Росії розроблено дизельні екологічно чисті палива марок ДЛЭЧ та ДЛЭЧ-В. Вони відрізняються малим вмістом сірки (0,05 % та 0,1 %) і ароматичних вуглеводнів (не більше 20 %), меншою здатністю до коксування. Використання цих палив дозволяє у чотири рази зменшити викиди оксидів сірки та на 30 % зменшити викиди твердих частинок.

#### 4. Екологічні властивості альтернативних моторних палив

В останній час у зв'язку із вичерпанням природних запасів нафти і погіршенням екологічної ситуації в світі все більше уваги приділяється одержанню моторних палив, альтернативних паливам нафтового походження. Ці палива використовуються як у чистому вигляді, так і в якості добавок до традиційних палив нафтового походження або у вигляді сумішей різних палив. Розглянемо екологічні властивості найбільш розповсюджених альтернативних палив.

1. Стиснутий природний газ. Становить собою газоподібне вичерпане паливо, основним компонентом якого є метан  $\text{CH}_4$ . Як правило, на борту автомобіля зберігається в балонах стиснутим до 20 МПа, хоча в останній час з'являється тенденція до використання його у зрідженому вигляді.

Екологічні переваги стиснутого природного газу:

– внаслідок найнижчого співвідношення вуглецю і водню в молекулі серед вуглеводневих палив при згорянні стиснутого при-

родного газу утворюється менш за все  $\text{CO}_2$  на 1 кг згорілого палива (на 25 % нижче, ніж при згорянні 1 кг бензину);

- практично повна відсутність у відпрацьованих газах високомолекулярних неметанових вуглеводнів NMHC, в тому числі канцерогенних;

- висока гомогенізація паливоповітряної суміші, внаслідок чого у відпрацьованих газах практично відсутні тверді частинки і дуже низький рівень вмісту  $\text{CO}$ ;

- відсутнє розрідження моторного мастила рідким паливом, що попадає в картер двигуна через ущільнення циліндро-поршневої групи. Це дозволяє збільшити срок служби моторного мастила в 2...3 рази між замінами, що знижує навантаження на засоби утилізації відпрацьованого моторного мастила;

- можливість працювати при високих значеннях  $\alpha$  (при деяких умовах до  $\alpha \approx 2$ ), що дозволяє суттєво знизити викиди  $\text{NO}_x$  з відпрацьованими газами;

- значно легший за повітря, тому його витоки не забруднюють ґрунти, водойми та ґрунтові води.

Екологічні недоліки стиснутого природного газу:

- велика маса балонів для зберігання палива на борту транспортного засобу, що збільшує витрату палива транспортним засобом на 1 км пройденого шляху (в наш час розроблені полегшені балони, використання яких практично ліквідує цей недолік);

- заправка транспортного засобу паливом є довгим і складним процесом, на стиснення газу витрачається велика кількість енергії;

- утруднюється пуск двигуна взимку, що збільшує викиди незгорілих вуглеводнів при пуску двигуна;

- метан, основний компонент стиснутого природного газу, є сильним парниковим газом;

- не є відновлюваним джерелом енергії.

2. Зріджений нафтовий газ. Становить собою легкі вуглеводні (в основному пропан і бутан), які одержуються при видобутку та перегонці нафти, а також видобуваються на газоконденсатних родовищах.

Екологічні переваги зрідженого нафтового газу:

- практично повна відсутність у відпрацьованих газах високомолекулярних канцерогенних вуглеводнів;

- висока гомогенізація паливоповітряної суміші, внаслідок чого у відпрацьованих газах практично відсутні тверді частинки і дуже низький рівень вмісту CO;

- відсутнє розрідження моторного мастила рідким паливом, що попадає в картер двигуна через ущільнення циліндро-поршневої групи.

Екологічні недоліки зрідженого нафтового газу:

- не є відновлюваним джерелом енергії;

- його видобуток найчастіше напряму пов'язаний з видобутком нафти.

3. Водень. Одержується, як правило, шляхом електролізу води або крекінгу метану.

Екологічні переваги водню:

- є відновлюваним джерелом енергії з необмеженими запасами у навколишньому середовищі;

- не є токсичним, тому його витіки не забруднюють навколишнє середовище;

- не містить атомів вуглецю, що дозволяє уникнути викидів усіх токсичних компонентів, окрім NO<sub>x</sub>;

- дозволяє роботу двигуна при дуже високих значеннях коефіцієнту надлишку повітря (до  $\alpha \approx 10$ ), що, у свою чергу, дозволяє суттєво знизити викиди NO<sub>x</sub> двигуном.

Екологічні недоліки водню:

- у природі відсутній у незв'язаному вигляді, а його одержання – дуже енергоємний процес;

- складний у зберіганні завдяки вибухонебезпечності, високій проникаючій здатності та великій роботі стиску водню.

4. Спирти. Як правило, це етанол та метанол. Можуть бути одержані з кам'яного та бурого вугілля, стиснутого природного газу, синтез-газу (CO + H<sub>2</sub>), біомаси тощо.

Екологічні переваги спиртів:

- більш низький рівень викидів продуктів неповного згоряння в порівнянні з паливами нафтового походження завдяки наявності атомів кисню в молекулах палива;

- спирти є відновлюваним джерелом енергії;

- доступність завдяки можливості одержання їх з біомаси;
- при згорянні спиртів біологічного походження до атмосфери викидається стільки ж  $\text{CO}_2$ , скільки було поглинено біомасою.

Екологічні недоліки спиртів:

- обмежена ресурсна база для їх масового виробництва;
- більш високий рівень викидів альдегідів в порівнянні з паливами нафтового походження;
- токсичність деяких видів спиртів.

5. Палива на основі органічних олій і жирів. Ці палива призначені для використання в дизельних двигунах і є продуктами переробки органічної сировини (в основному ріпакової олії).

Екологічні переваги палив на основі органічних олій і жирів:

- є відновлюваним джерелом енергії;
- доступність завдяки можливості одержання з біомаси;
- низький рівень вмісту сірки;
- не є токсичними, при попаданні в навколишнє середовище швидко розкладаються бактеріями на  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ ;
- хороші змащувальні характеристики цих палив подовжують ресурс двигуна і паливної апаратури;
- при згорянні палива біологічного походження до атмосфери викидається стільки ж  $\text{CO}_2$ , скільки було поглинено біомасою.

Екологічні недоліки палив на основі органічних олій і жирів:

- високий рівень викидів твердих частинок;
- обмежена ресурсна база для масового виробництва;
- масличні культури, з яких, як правило, виробляються олії, виснажують сільськогосподарські ґрунти.

6. Біогаз. Це газ, що одержується шляхом анаеробного бродіння біомаси. В результаті цього процесу виділяється метан  $\text{CH}_4$ , який є основним горючим компонентом біогазу.

Екологічні переваги біогазу:

- є відновлюваним джерелом енергії;
- широка ресурсна база для його виробництва (рослинна або тваринна біомаса будь-якого походження і якості);
- основним компонентом біогазу є метан, тому до цього палива відносяться всі екологічні переваги стиснутого природного газу;

– відходи виробництва біогазу можуть використовуватись в сільському господарстві як високоякісне органічне добриво; це може зменшити забруднення ґрунтів, ґрунтових вод та водойм хімічними добривами;

– при згорянні біогазу до атмосфери викидається стільки ж  $\text{CO}_2$ , скільки було поглинено біомасою;

– метан, сильний парниковий газ, що виділяється при гнитті біомаси на звалищах, замість, того, щоб попадати в атмосферу, утилізується.

Екологічні недоліки біогазу:

– непостійність складу біогазу, що утруднює регулювання двигуна з метою зниження викидів токсичних речовин;

– висока корозійна активність біогазу, внаслідок чого кількість частинок, що утворились в результаті корозійного руйнування деталей двигуна і які попадають у навколишнє середовище, суттєво збільшується;

– вміст високої кількості  $\text{CO}_2$  у біогазі (до 30 %) погіршує умови згоряння, внаслідок чого збільшуються викиди  $\text{CH}$  в атмосферу.

## 5. Вплив якості моторного масла на токсичність відпрацьованих газів двигунів

Якість моторного масла впливає на показники токсичності відпрацьованих газів як безпосередньо, так і опосередковано.

Безпосередній вплив полягає в тому, що масло, яке змащує циліндрово-поршневу групу, тим чи іншим шляхом потрапляє у камеру згоряння, де бере участь в утворенні сажових частинок, нагару, поліциклічних ароматичних вуглеводнів (канцерогенів), аерозолів. Потім усі ці речовини викидаються в повітря. Від стійкості масла до розкладу в умовах камери згоряння залежить кількість викидів твердих частинок і димність відпрацьованих газів.

Присадки (проти зношування, задирання, окиснювання, миючі, диспергуючі, в'язкісні, багатофункціональні тощо), які додають у масла для поліпшення їх властивостей, а також продукти їх розкладу та згоряння можуть бути шкідливими речовинами.



Опосередкований вплив якості масла на показники токсичності відпрацьованих газів двигунів полягає у тому, що при низькій якості масла збільшується інтенсивність зношування деталей циліндрово-поршневої групи, погіршується компресія, зростають втрати на подолання сил тертя. Усе це призводить до погіршення паливної економічності, тобто до перевитрати палива та збільшення викидів продуктів згоряння, зокрема шкідливих.

Ознаками потрапляння масла у камеру згоряння є підвищена втрата масла із системи змащування на угар, синій колір відпрацьованих газів, збільшення викидів твердих частинок.

Треба обережно ставитися до пропозицій поліпшити властивості моторного масла шляхом додавання присадок, не передбачених інструкцією заводу-виробника автомобіля. Порушення балансу присадок (а цей баланс забезпечує виробник масла) може у деяких випадках спричинити негативні наслідки як для технічного стану двигуна, так і для токсичності відпрацьованих газів. Сьогодні в автомобільних двигунах замість масел нафтового походження широко застосовують напівсинтетичні та синтетичні моторні масла з поліпшеними техніко-економічними та екологічними характеристиками.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке елементарний склад палива? Які хімічні елементи звичайно входять до складу традиційних вуглеводневих палив?
2. Як впливає будова вуглеводнів, що входять до складу бензину, на його октанове число і токсичність відпрацьованих газів двигуна, що працює на цьому бензині?
3. Від чого залежить здатність до самозаймання вуглеводнів? Який показник характеризує здатність до самозаймання дизельного палива?
4. Як впливає наявність сірки у дизельному паливі на токсичність відпрацьованих газів двигуна, що працює на цьому паливі?
5. Наведіть екологічні переваги і недоліки альтернативних моторних палив.
6. Як впливає якість моторного масла на токсичність відпрацьованих газів двигунів?

# ТЕМА «МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ»

## Лекція 8

1. Вплив параметрів роботи двигуна на його токсичність.
2. Вплив складу паливо-повітряної суміші і кута випередження запалювання на токсичність відпрацьованих газів.
3. Типи пристроїв, які застосовують для зменшення викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами на автомобілях.
4. Заходи для зменшення шуму двигуна.

### 1. Вплив параметрів роботи двигуна на його токсичність.

В умовах експлуатації бензинових двигунів із примусовим запалюванням (карбюраторних та інжекторних) можливим є вплив на техніко-економічні та екологічні показники автомобільного двигуна шляхом зміни таких регульовальних параметрів:

- склад паливно-повітряної суміші (з урахуванням режиму роботи), який характеризується коефіцієнтом надлишку повітря;
- кут випередження запалювання.

Вручну зазначені настройки можуть бути змінені для карбюраторних двигунів застарілих моделей.

У сучасних інжекторних двигунах усі ці настройки змінюються в процесі роботи за командами бортового мікропроцесора безперервно, автоматично, з урахуванням режиму роботи.

В умовах експлуатації сучасних автомобільних дизелів можливим є вплив на такі регульовальні параметри:

- кут випередження впорскування палива;
- мінімальна частота обертання колінчастого вала на холостому ході;
- настроювання обмежувача димлення у двигунах із турбонаддуванням (якщо є обмежувач димлення);
- настроювання регулятора рециркуляції відпрацьованих газів (якщо є такий регулятор);

- температура наддувного повітря після проміжного охолоджувача (якщо є охолоджувач наддувного повітря);
- настроювання системи регулювання тиску наддувного повітря (якщо є система регулювання тиску наддування).

У сучасних автомобільних дизелів усі ці настроювання виконуються у процесі роботи за командами бортового мікропроцесора безперервно, автоматично, з урахуванням режиму роботи.

## 2. Вплив складу паливо-повітряної суміші і кута випередження запалювання на токсичність відпрацьованих газів.

Основним регулювальним параметром, що визначає потужність, економічні і токсичні властивості двигуна, є склад паливно-повітряної суміші, який характеризується коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$ .

Схематично характер впливу  $\alpha$  на потужність  $N_e$ , питому ефективну витрату палива  $g_e$ , викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами  $e_i$  ( $e_{CO}$ ,  $e_{CH}$ ,  $e_{NO_x}$ ) для бензинового двигуна з іскровим запалюванням показаний на рис. 8.1. Типовим є те, що максимальна потужність бензинового двигуна досягається при  $\alpha = 0,85...0,95$ , а найкраща паливна економічність – при  $\alpha = 1,05...1,15$ . Для інших палив схема, наведена на рис. 8.1, може дещо відрізнятись.

Як можна бачити з рис. 8.1, зі збільшенням коефіцієнта надлишку повітря викиди продуктів неповного згоряння (CO і CH) з відпрацьованими газами зменшуються, а оксидів азоту – збільшуються. Безперервне зменшення викидів продуктів неповного згоряння пояснюється тим, що зі збільшенням  $\alpha$  зростає кількість кисню у зоні згоряння, а це поліпшує умови для повного згоряння. Збільшення викидів CH при  $\alpha > 1,2$  пояснюється зниженням надійності запалювання і згоряння паливоповітряної суміші при високих  $\alpha$ .

Максимум викидів  $NO_x$  досягається при  $\alpha = 1,05...1,08$ . При подальшому збільшенні  $\alpha$  концентрація оксиду азоту починає також зменшуватися. Це пояснюється тим, що при малих  $\alpha$  існує конкуренція у споживанні кисню між вуглеводнем та азотом, і кисню для окиснення азоту не вистачає. Зі збільшенням  $\alpha$  з'являється кисень, який може бути використаний для окиснення азоту повітря. При  $\alpha > 1,1$  концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах, незважаючи

на достатню кількість кисню, починає зменшуватися, що зумовлено зменшенням максимальної температури робочого тіла.

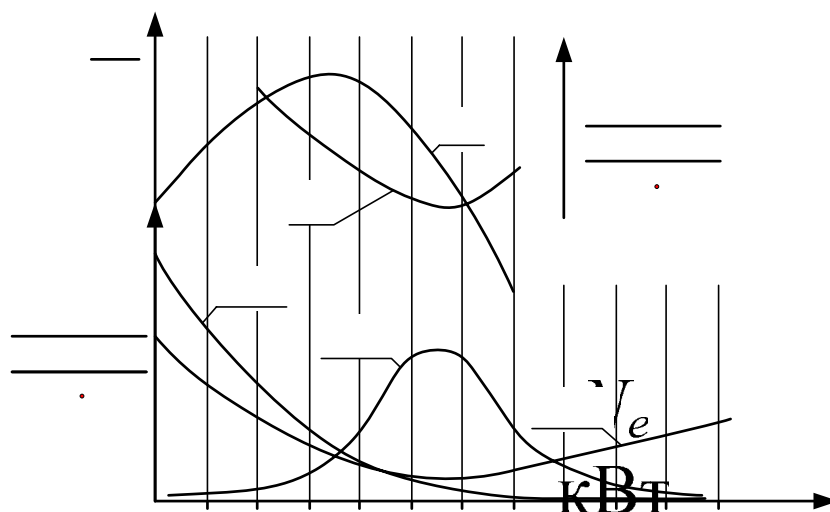


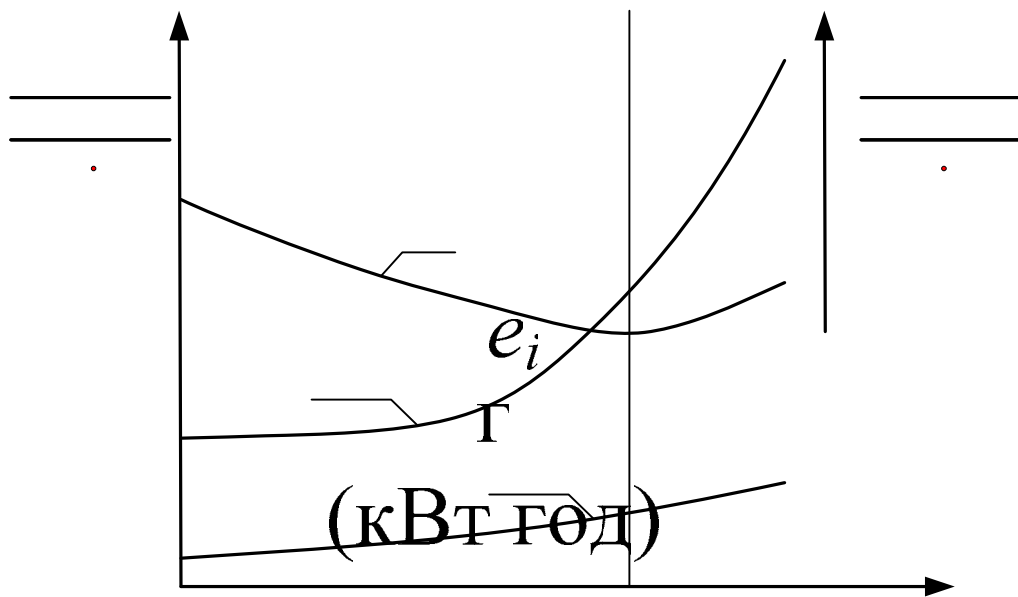
Рисунок 8.1 – Характер впливу коефіцієнта надлишку повітря на техніко-економічні та екологічні показники бензинового двигуна з примусовим запалюванням  $g_e$

Максимум паливної економічності бензинового двигуна з іскровим запалюванням (тобто мінімум  $g_e$ ) співпадає із максимумом викидів оксидів азоту (рис. 8.1).  $e_i$

На рис. 8.2 показано характер впливу кута випередження запалювання  $\theta$  на питому ефективну витрату палива  $g_e$ , викиди оксидів азоту  $NO_x$  та вуглеводнів  $CH$  з відпрацьованими газами.  $e_{NOx}$

Зі збільшенням кута випередження запалювання зростає максимальний тиск і температура робочого тіла в циліндрі. Це призводить до збільшення кількості оксидів азоту, що викидаються з відпрацьованими газами.  $(кВт год)$

На концентрацію  $CO$  кут випередження запалювання практично не впливає. Зниження викидів  $CH$  при зменшенні кута випередження запалювання обумовлюється збільшенням температури відпрацьованих газів, що створює сприятливі умови для більш ефективного окиснення незгорілих вуглеводнів у випускній системі двигуна.  $0,60,70,80,9$



$g_e$

Рисунок 8.2 – Вплив кута випередження запалювання на показники паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів:

$\theta_{\text{опт}}$  – кут випередження запалювання, що забезпечує мінімальну питому ефективну витрату палива двигуном на заданому режимі

Існує негативний зв'язок між паливною економічністю двигуна та емісією оксидів азоту (рис. 8.1 та 8.2). Це обумовлено тим, що зі збільшенням температури циклу одночасно збільшується термічний ККД циклу і швидкість реакцій утворення  $\text{NO}_x$ . Тому неможливо тільки за рахунок зміни кута випередження запалювання та складу паливо-повітряної суміші позбавитися одночасно усіх токсичних речовин, які містять відпрацьовані гази.

Можливими є три варіанти регулювань системи паливоподачі, які забезпечать:

1. мінімум викидів оксиду азоту при значних викидах продуктів неповного згоряння ( $\alpha < 0,9$ );
2. мінімум викидів продуктів неповного згоряння при великих викидах оксидів азоту ( $\alpha = 1,1 - 1,2$ );
3. компромісний рівень викидів ( $\alpha = 0,98 - 0,99$ ).

Вибір того чи іншого варіанта регулювань залежить від застосування на автомобілі додаткових заходів з нейтралізації токсичних компонентів відпрацьованих газів у випускній системі.

Якщо застосовують окиснювальні нейтралізатори, то систему живлення настраюють на роботу на багатій суміші з мінімальними викидами  $\text{NO}_x$ . Далі у випускні систему подають додаткове повітря, завдяки якому продукти неповного згоряння окиснюються за допомогою нейтралізатора до продуктів повного згоряння.

Якщо застосовують нейтралізатори, які забезпечують відновлення  $\text{NO}_x$ , то паливну систему регулюють на забезпечення бідної суміші з мінімальними викидами продуктів неповного згоряння. Оксиди азоту в нейтралізаторі відновлюються до молекулярного азоту.

Сьогодні набули поширення трикомпонентні нейтралізатори відпрацьованих газів, які забезпечують нейтралізацію оксидів азоту, оксиду вуглецю та вуглеводнів.

Зменшити викиди оксидів азоту з відпрацьованими газами ДВЗ можливо шляхом рециркуляції відпрацьованих газів із випускної системи во впускний колектор. Рециркуляція призводить до збільшення коефіцієнта залишкових газів.

Оскільки у залишкових газах міститься підвищена кількість триатомних газів ( $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ ), які мають більшу теплоємність, ніж повітря, то на їх нагрівання витрачається певна кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива. Тому температура продуктів згоряння у разі збільшення коефіцієнту залишкових газів у циліндрі двигуна буде зменшеною. Крім того, збільшення кількості залишкових газів спричиняє зменшення концентрації кисню у циліндрі двигуна. Ці фактори сприяють зменшенню швидкості реакції утворення  $\text{NO}_x$  в процесі згоряння.

Відносну кількість відпрацьованих газів, що повертають у циліндр двигуна, характеризує ступінь рециркуляції  $R_c$ , який визначають наступним чином

$$R_c = \frac{M_r}{M_r + M_f + M_s} \cdot 100, \quad (8.1)$$

де  $M_r$ ,  $M_f$ ,  $M_s$  – відповідно маса газів, що подані у циліндр шляхом рециркуляції, маса палива та маса свіжого повітря.

Характер впливу ступеня рециркуляції на питому ефективну витрату палива, концентрацію  $W_i$ ,  $\text{млн}^{-1}$ , оксидів азоту та вуглевод-

нів у відпрацьованих газах двигуна з примусовим запалюванням показано на рис. 8.3.

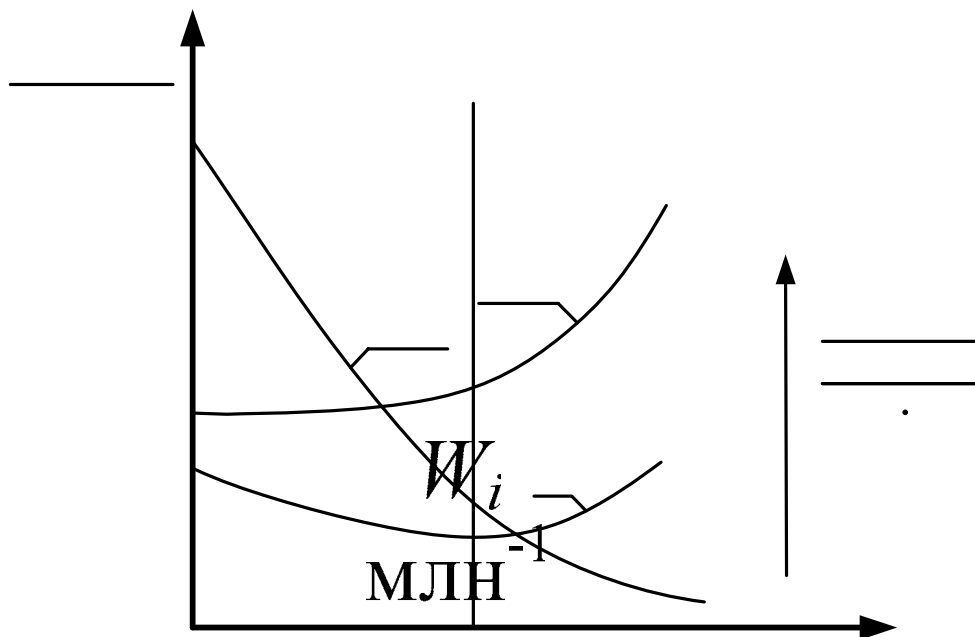


Рисунок 8.3 – Вплив ступеня рециркуляції відпрацьованих газів на показники токсичності та паливної економічності двигуна з примусовим запалюванням

При рециркуляції досягається зменшення викидів оксидів азоту, але одночасно збільшуються викиди вуглеводнів. Ступінь рециркуляції на рівні  $R_c = 10...12\%$  забезпечує значне зменшення ( $W_{NOx}$  на  $60...80\%$ ) викидів оксидів азоту при незначному збільшенні викидів вуглеводнів та питомої ефективної витрати палива.

Рециркуляція ефективна лише на режимах середніх навантажень. У двигуні з примусовим запалюванням на режимах зовнішньої швидкісної характеристики рециркуляцію застосовувати нецільно, оскільки на цих режимах суміш звичайно є збагаченою, тому викиди оксидів азоту на режимах зовнішньої швидкісної характеристики, як правило, незначні. Крім того, збільшення кількості залишкових газів у циліндрі не дозволяє одержати максимальну потужність двигуна.

Рециркуляцію, яка дозволяє ефективно зменшувати викиди оксидів азоту, але призводить до деякого підвищення викидів продук-

$$R_c \approx 8...$$

тів неповного згоряння, доцільно поєднувати із застосуванням окиснювальних нейтралізаторів продуктів неповного згоряння.

Кут випередження впорскування палива є регульованим параметром, який дозволяє впливати на показники паливної економічності та токсичності дизелів. Характер впливу кута випередження впорскування на питомі викиди оксидів азоту та вуглеводнів показано на рис. 8.4.

Зменшення кута випередження впорскування призводить до зниження питомих викидів  $\text{NO}_x$ , однак при цьому збільшуються викиди сажі і питома витрата палива (рис. 8.4). Викиди  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$  і альдегідів практично незмінні.

Причина зменшення питомих викидів оксидів азоту при зменшенні кута випередження впорскування палива полягає в тому, що при більш пізньому впорскуванні зменшується максимальна температура циклу.

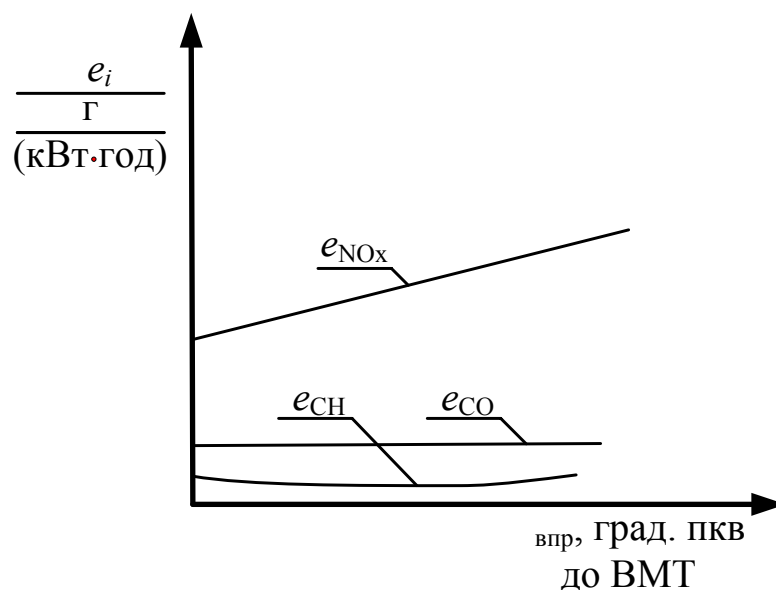


Рисунок 8.4 – Вплив кута випередження впорскування палива на показники токсичності дизеля

У дизелях, які мають паливну систему безпосереднього впорскування, обмеження максимальної подачі палива можна здійснити шляхом зміни положення упору, який регламентує хід органа керування подачею палива (рейки або дозатора паливного насоса висо-



кого тиску). При застосуванні електронних регуляторів частот обертання колінчастого валу обмеження максимальної подачі палива може бути здійснено шляхом зміни відповідних налаштувань регулятора.

Крім обмежень на максимальну подачу палива на сучасних дизелях з газотурбінним наддуванням застосовують так звані «обмежувачі димлення», які встановлюють верхню межу для циклової подачі палива в залежності від поточного тиску наддувного повітря.

Обмеження максимальної подачі палива здійснюється на режимах зовнішньої швидкісної характеристики або в перехідних процесах. Його метою є встановлення нижньої межі для значення коефіцієнта надлишку повітря.

Коефіцієнт надлишку повітря є тим параметром, який найсуттєвіше впливає на характеристики процесу згоряння палива і, таким чином, на показники паливної економічності та токсичності двигуна. При малому значенні коефіцієнту надлишку повітря виникають дефіцит кисню для згоряння та умови для неповного згоряння, що супроводжується утворенням газоподібних продуктів неповного згоряння та сажі.

Обмеження циклової подачі на 30 % від номінальної призводить до зниження викидів CO, CH та сажі на 70 – 80 % .

Зменшення викидів сажі в результаті обмеження максимальної подачі палива буде спостерігатися при максимальних навантаженнях, при пуску двигуна, після переключення передач при розгоні.

Негативним наслідком застосування обмежень на максимальну подачу палива є зменшення максимальної потужності двигуна та збільшення тривалості перехідних процесів.

Основним засобом збільшення питомої потужності дизелів є застосування наддування, яке полягає у попередньому стисканні повітря у додатковому компресорі (компресорах) перед подачею його у циліндри. Сьогодні застосовують переважно відцентрові компресори, які приводяться в дію від турбіни або від колінчастого валу. Можливою є також комбінація цих двох способів.

У процесі підвищення тиску температура повітря зростає і буде тим більшою, чим більшим буде ступінь підвищення тиску в компресорі. Занадто велика температура після компресора (понад 70...80 °C) негативно впливає на показники паливної економічності

та токсичності відпрацьованих газів, а також на теплову напруженість основних деталей двигуна.

Поліпшити показники дизелів із наддуванням можна шляхом застосування охолодження наддувного повітря після компресора. Охолодження повітря збільшує густину заряду на впуску, повноту згоряння палива й одночасно обмежує зростання температури наприкінці такту стиску, незважаючи на більш високий тиск у циліндрі. В результаті форсовані дизелі мають такі ж самі концентрації  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах, як і дизелі меншої потужності без наддування.

Характеристика тепловиділення у процесі згоряння багато чому залежить від закону подачі палива і характеру сумішоутворення. Розробляються різні пристрої керування подачею палива, які прискорюють процес дифузійного згоряння при збереженні незмінної загальної тривалості процесу згоряння і обмежують об'ємне згоряння, яке супроводжується інтенсивним утворенням  $\text{NO}_x$ .

Наразі дедалі більшого застосування набувають системи ступінчастого (послідовного) впорскування кількох порцій палива (багатофазне впорскування). Таке впорскування дозволяє підняти середній індикаторний тиск і зменшити емісію оксидів азоту при збереженні обмежень на максимальний тиск і жорсткість процесу згоряння. Так, навіть у найпростішому випадку подачі палива у два етапи (спочатку подається запальна порція палива у кількості 15...18 % від загальної, а через деякий час – основна подача) при незмінній паливній економічності досягається зменшення концентрації  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах на 25...30 % і димності відпрацьованих газів на 60...80 %.

У паливних системах безпосереднього впорскування ступінчасту подачу палива можна здійснити додатковим виступом на кулачковому валі паливного насоса високого тиску. Проте такі системи не набули широкого практичного використання внаслідок того, що вони не забезпечують поліпшення показників упорскування на всіх режимах роботи двигуна.

Ефективне використання принципу ступінчастого впорскування забезпечують сучасні паливні системи акумуляторного типу з електронним управлінням роботи електромагнітних або п'єзокварцових форсунок (наприклад, система Common Rail).

### 3. Типи пристроїв, які застосовують для зменшення викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами на автомобілях.

Для зниження викидів токсичних речовин сучасні автомобілі обладнують спеціальними пристроями для обробки відпрацьованих газів у випускній системі двигуна.

Пристрої, які тільки вилучають із потоку відпрацьованих газів шкідливі речовини і затримують їх без зміни хімічного складу, називають фільтрами.

Пристрої, призначені для обробки відпрацьованих газів, яка супроводжується зміною хімічного складу окремих речовин, називають нейтралізаторами. Нейтралізатори встановлюються у випускній системі. Часто вони мають вигляд глушника і крім знешкодження шкідливих речовин додатково виконують функцію цього пристрою.

В залежності від того, які шкідливі речовини у відпрацьованих газах треба знешкоджувати, у нейтралізаторах відбуваються наступні хімічні реакції:

- окиснювання – для нейтралізації продуктів неповного згоряння (СО, СН, альдегіди);
- відновлення – для нейтралізації оксидів азоту.

Відповідно до типу реакцій, які в них відбуваються, нейтралізатори бувають окиснювальними та відновлювальними.

У так званих трикомпонентних нейтралізаторах відбуваються як реакції окиснювання шкідливих продуктів неповного згоряння, так і реакції відновлення оксидів азоту.

Для збільшення швидкості хімічних реакцій і забезпечення високого ступеня перетворення шкідливих речовин у нешкідливі реакції треба проводити з каталізатором або при високій температурі реагентів. В залежності від способу прискорення реакцій нейтралізатори бувають каталітичними та термічними.

Принципово можливим є використання рідинних нейтралізаторів, але на автомобільному транспорті вони не набули широкого поширення внаслідок великих габаритів і складності експлуатації. Найчастіше застосовуються нейтралізатори, які мають каталізатор, нанесений на твердий блок-носій.

У якості каталізаторів використовують різні речовини: благородні метали (платину, паладій, родій), а також оксиди різних металів. Найкращі показники ефективності нейтралізатора забезпечують каталізатори із благородних металів.

Блок-носій каталітичного нейтралізатора виготовляється з кераміки стільникової структури, гофрованої фольги з нержавіючої сталі товщиною 0,1...0,5 мм або у вигляді сферичних гранул з оксиду алюмінію, що укладаються в металевий циліндр, закритий з торців сітками. Для зменшення вібраційних навантажень з боку двигуна нейтралізатор приєднується до випускного трубопровода через компенсатор коливань.

Каталізатори, які використовують для прискорення окиснювання CO і CH<sub>4</sub>, зазвичай містять 2...5 г платини і паладію. Ступінь каталітичного перетворення CO при температурі відпрацьованих газів  $t > 400$  °C може сягати 95...99 %.

Окиснювальні нейтралізатори призначені для перетворення продуктів неповного згоряння вуглеводнів (CO і C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) у продукти повного згоряння (CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O).

Для того, щоб це перетворення встигло завершитися за короткий час, протягом якого відпрацьовані гази ДВЗ проходять через нейтралізатор, останній повинен мати каталізатор (бажано, із благородних металів) для створення оксидного середовища і підтримувати температуру в каталізаторі в межах 250...800 °C. При  $t < 250$  °C ефективність каталізатора невелика, а при  $t > 1000$  °C нейтралізатор дезактивується внаслідок спікання дрібних кристалів платини, що призводить до руйнування ділянок платинової поверхні.

Дезактивація каталізатора особливо велика протягом перших 20 тис. км пробігу, а далі до 80 тис. км пробігу вона, як правило, мала. Особливо швидко дезактивація виникає при використанні етилованого бензину, тому робота на цьому паливі при наявності на автомобілі каталітичного нейтралізатора неприпустима. При експлуатації температура у нейтралізаторі повинна бути в межах 400...600 °C.

Якщо на виході з нейтралізатора кількість вуглеводнів велика, то можна зменшити кут випередження запалювання. Це збільшить температуру в нейтралізаторі і відповідно зменшить викиди CH<sub>4</sub>, але паливна економічність двигуна погіршиться.

Коли нейтралізатор розташовано близько до випускного колектора, то при холодному пуску в ньому швидше досягається температура початку роботи (позитивний чинник). Однак при цьому підвищується експлуатаційна температура, що може сприяти дезактивації каталізатора.

Для роботи системи з каталітичним оксидним нейтралізатором при використанні у двигуні збагачених сумішей до відпрацьованих газів необхідно додавати повітря. Для цього використовують спеціальні повітряні насоси або клапанні пристрої (віброклапани чи пульсатори), що функціонують під дією хвиль розрідження, які виникають у системі випуску.

Застосування каталітичного оксидного нейтралізатора є доцільним при забезпеченні викидів оксидів азоту, нижче значень, дозволених нормами. Обладнання автомобілів оксидними каталітичними нейтралізаторами (за умови використання неетилованого бензину) дозволяє істотно зменшити викиди CO і CH.

Для сучасних автомобілів, що мають бензинові двигуни з примусовим (іскровим) запалюванням, неможливе виконання жорстких норм на викиди оксидів азоту (наприклад Євро 3) шляхом використання тільки рециркуляції відпрацьованих газів і пізнього запалювання. Тому для виконання цієї задачі потрібно використовувати трикомпонентний каталітичний нейтралізатор, у якому одночасно відбуваються реакції відновлення оксиду азоту до молекулярного азоту та окиснення оксиду вуглецю і вуглеводнів до діоксиду вуглецю та води. Оскільки в таких нейтралізаторах відбуваються як реакції відновлення, так і реакції окиснювання, їх ще називають біфункціональними.

Найкращим каталізатором для реакції відновлення оксидів азоту є родій, а для реакцій окиснення оксиду вуглецю та вуглеводнів – платина і паладій.

При відновленні оксиду азоту може утворюватись аміак  $\text{NH}_3$ , який сам по собі є токсичною речовиною. Умовою отримання мінімальної кількості аміаку після нейтралізатора є робота двигуна на стехіометричних сумішах, тобто з коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha = 1$ .

Ступінь перетворення  $i$ -ї шкідливої речовини на нешкідливу оцінюють коефіцієнтом перетворення  $K_i$ , %, який визначають за формулою

$$K_i = \frac{\Delta C_i}{C_{i\text{вх}}} \cdot 100, \quad (8.2)$$

де  $C_{i\text{вх}}$  – концентрація  $i$ -ї речовини на вході в нейтралізатор;  $\Delta C_i$  – зміна концентрації  $i$ -ї речовини в нейтралізаторі.

Значення  $K_i$  для кожної речовини залежить від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ . На рис. 8.5 наведені графіки залежності коефіцієнта перетворення в каталітичному нейтралізаторі від коефіцієнта надлишку повітря.

Аналіз залежностей на рис. 8.5 дозволяє зробити висновок, що у двигунах з примусовим запалюванням найефективніше одночасне знешкодження оксиду вуглецю, оксиду азоту та вуглеводнів відбувається за умов підтримання коефіцієнту надлишку повітря на рівні  $\alpha \approx 0,99$ . Зона ефективної роботи нейтралізатора на рис. 8.5 показана штрихованою смугою.

У загальній приведеній токсичності відпрацьованих газів дизелів із нормованих шкідливих речовин найбільша частка належить оксиду азоту NO. Оскільки в дизелях коефіцієнт надлишку повітря значно більший за одиницю, застосувати трикомпонентний нейтралізатор для знешкодження NO неможливо. Тому у випадках, коли зменшення викидів NO шляхом впливу на процес згоряння у циліндрі є недостатнім, треба застосувати інші методи відновлення оксиду азоту до молекулярного азоту. Для вирішення цієї задачі застосовують нейтралізатори, які мають назву DENOX.

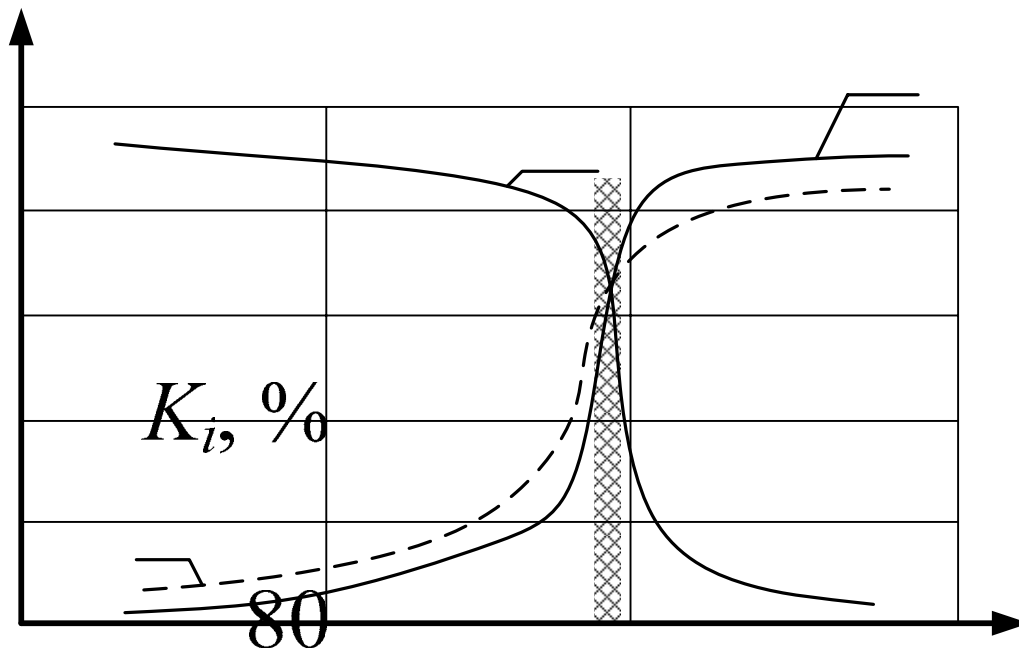
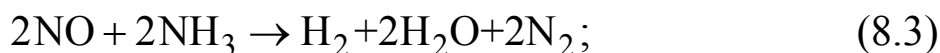


Рисунок 8.5 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря на коефіцієнт перетворення шкідливих речовин у каталітичному нейтралізаторі

Для відновлення оксиду азоту в цей нейтралізатор подається аміак  $\text{NH}_3$ , вуглеводневе паливо (дизпаливо) або мочевина  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . В залежності від застосованих реагентів у нейтралізаторі DENOX можливі такі реакції



Як каталізатор у нейтралізаторі DENOX використовують мідь і цеоліт (працездатні при  $t > 350^\circ\text{C}$ ) або платину та цеоліт (працездатні при  $t > 200^\circ\text{C}$ ).

Для виконання норм Євро 4 необхідно вилучати тверді частинки з потоку відпрацьованих газів дизелів. Вилучити тверді частинки (насамперед сажу) з потоку відпрацьованих газів можна за допомогою фільтрів, фільтрувальні елементи яких виготовляють, як правило, з пористої кераміки. Однак фільтри швидко забиваються сажею і їх гідравлічний опір зростає. Тому фільтрувальні елементи треба періодично замінювати (що незручно) або регенерувати.

На сучасних автомобілях з дизелями застосовують регенерацію фільтрів шляхом періодичного випалювання забруднень. Для цього температуру відпрацьованих газів, у яких є вільний кисень, підвищують до рівня, при якому починається горіння сажі. Найчастіше підвищення температури забезпечує підігрівач (пальник), що працює на дизельному паливі, установлений у випускній системі перед фільтром. Цей підігрівач подібний до електрофакельного підігрівача, який застосовують для підігрівання впускного повітря у впускному колекторі при пуску дизеля в холодну пору року. Продукти згоряння, які утворюються при роботі пальника, підігрівають відпрацьовані гази.

Є також схеми регенерації фільтрів, у яких застосовують електричний підігрів фільтрувального елемента.

#### 4. Заходи для зменшення шуму двигуна

Під час руху автомобіля шум виникає внаслідок одночасної дії багатьох чинників, зокрема: роботи двигуна та трансмісії, збурення повітря, яке обтікає кузов машини, взаємодії між шинами та дорожнім покриттям, вібрації елементів кузова, роботи кондиціонера. Основне джерело шуму, що створюється автомобілем – його двигун.

В залежності від походження шуму класифікація джерел шуму в ДВЗ може бути такою:

1. Шум аеродинамічного походження, спричинений збуреннями потоків повітря чи відпрацьованих газів у системах впуску, випуску та охолодження двигуна.

2. Шум, спричинений коливаннями зовнішніх поверхонь двигуна, обумовлений:

- ударами при вибиранні зазорів між деталями (у механізмі газорозподілу, між поршнями та гільзами, у підшипниках, форсунках і паливних насосах високого тиску дизелів);
- швидким наростанням тиску в циліндрі у процесі згоряння.

3. Шум від коливань двигуна на підвісці, спричинений:

- невірноваженістю сил інерції або моментів сил інерції мас деталей, що рухаються;
- нерівномірністю крутного моменту, який сприймається підвіскою.



Частка впливу кожного чинника на загальний рівень шуму для двигунів різних типів і конструкцій неоднакова.

Газодинамічний шум залежно від режиму роботи може мати складові в області низьких, середніх, а також високих частот. Рівень шуму від системи випуску більший, ніж від системи впуску, оскільки внаслідок високої температури відпрацьованих газів їх об'ємна витрата і швидкість течії більша, ніж у впускній системі.

Рівень шуму від автомобільних двигунів знижують таким чином:

- капотуванням та звукоізолюючими перегородками;
- конструктивними заходами;
- встановленням глушників.

Чим більше маса капоту, тим більше його ефективність з точки зору звукоізоляції.

До основних конструктивних заходів, спрямованих на зниження рівня шуму від ДВЗ, відносять такі:

- оптимізація конструкції блоку циліндрів та головки блока;
- зменшення зазору між поршнем і гільзою циліндра;
- збільшення довжини юбки поршня;
- застосування дезаксіального кривошипно-шатунного механізму;
- застосування безударних профілів кулаків розподільних валів;
- застосування гідравлічних штовхачів клапанів;
- збільшення товщини стінки втулки циліндра;
- застосування у приводі механізму газорозподілу пластмасових і косозубих шестерен, беззазорних шестеренчатих передач, пасових передач;
- підвищення ступеня врівноваженості сил і моментів сил інерції, а також рівномірності крутного моменту;
- зменшення швидкості наростання тиску згоряння.

Рівень шуму дизеля значною мірою визначається жорсткістю згоряння, яка, у свою чергу, обумовлена прийнятим способом сумішоутворення. Найменший рівень шуму мають дизелі з плівковим сумішоутворенням, а також із розділеними камерами згоряння. Найбільший рівень шуму мають дизелі з нерозділеними камерами згоряння та об'ємним сумішоутворенням.

У двигунів із примусовим запалюванням у разі нормальної роботи швидкість збільшення тиску при згорянні значно менша у порівнянні з дизелями, тому шум від згорання незначний. При таких порушеннях згорання, як детонація та передчасне (раніше, ніж буде подано іскру) samozаймання, жорсткість згорання і відповідно рівень шуму від двигуна будуть збільшуватись.

Глушники застосовують у системах впуску повітря та випуску відпрацьованих газів для зменшення шуму аеродинамічного походження. За принципом дії глушники поділяються на активні та реактивні.

В активних глушниках енергія коливань газового потоку перетворюється на теплоту при проходженні хвилі крізь опір (сітка, перфоровані листи, матеріали, що поглинають звук). Принципові схеми активних глушників наведено на рис. 8.6.

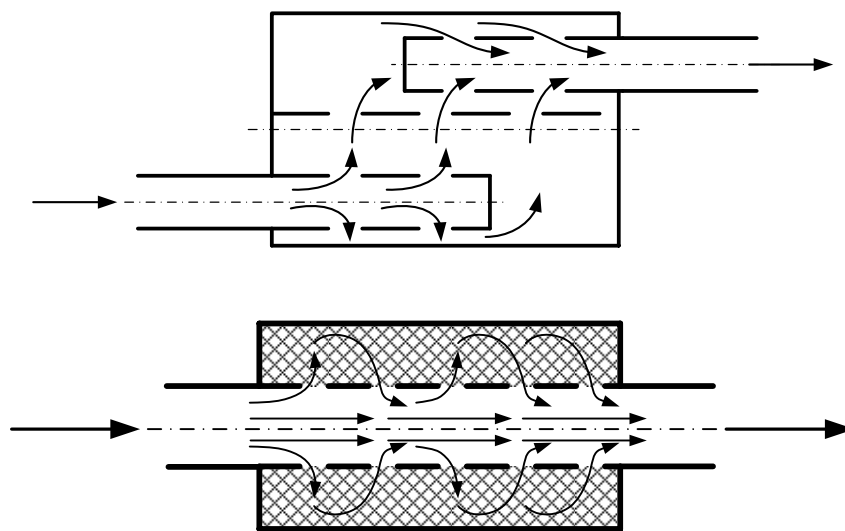


Рисунок 8.6 – Принципові схеми активних глушників:  
ВГ – відпрацьовані газы

Реактивні глушники мають розширювальну камеру або кілька резонансних камер. Зменшення амплітуди коливань в цих камерах відбувається внаслідок розширення газів і відбивання звукових хвиль. Принципова схема реактивного глушника наведена на рис. 8.7.

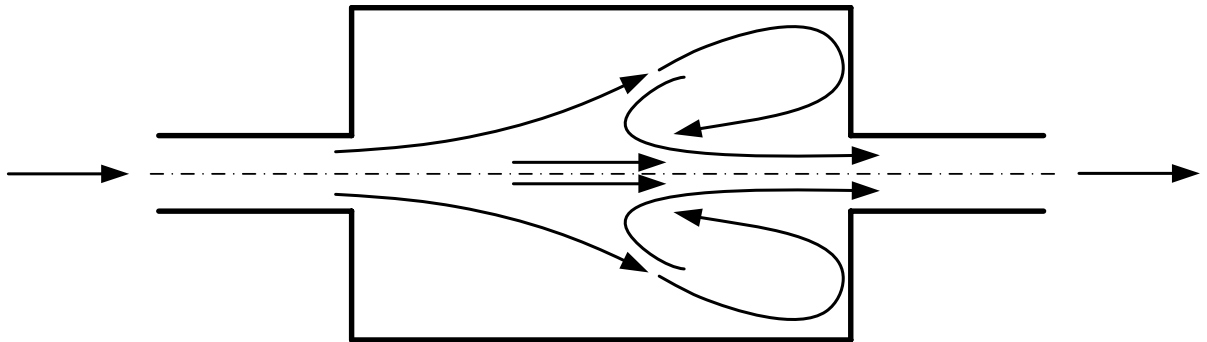


Рисунок 8.7 – Принципова схема реактивного глушника:  
**ВГ** відпрацьовані гази

Реактивні глушники ефективно поглинають низькочастотний шум, а активні – високочастотний, тому у випускних системах сучасних автомобілів застосовують комбінацію глушників обох типів.

У впускних системах роль глушника виконує повітряний фільтр.

### Контрольні запитання

1. Як коефіцієнт надлишку повітря впливає на показники токсичності двигуна з іскровим запалюванням?
2. Як кут випередження запалювання впливає на показники токсичності двигуна з іскровим запалюванням?
3. Як максимальна циклова подача палива впливає на показники токсичності дизеля?
4. Як багатofазне впорскування палива впливає на показники токсичності дизеля?
5. Які пристрої використовують для обробки відпрацьованих газів у випускній системі двигуна?
6. Перелічте типи нейтралізаторів відпрацьованих газів, що застосовуються на автомобільних двигунах.
7. Які заходи можна прийняти для зменшення рівня шуму, що створюється автомобілем?

# ТЕМА «НЕТРАДИЦІЙНІ СИЛОВІ УСТАНОВКИ АВТОМОБІЛІВ ТА НАЗЕМНИХ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН З ПОЛІПШЕНИМИ ЕКОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ»

## Лекція 9

1. Силові установки автомобілів, які можуть бути альтернативою традиційним ДВЗ.
2. Електромобілі.
3. Гібридні силові установки.
4. Газотурбінні двигуни.
5. Паросилові установки.
6. Двигун Стірлінга.
7. Паливні елементи.

1. Силові установки автомобілів, які можуть бути альтернативою традиційним ДВЗ.

У попередніх лекціях були розглянуті методи покращання екологічних показників автомобілів, які в основному полягають у покращанні екологічних показників ДВЗ, що встановлені на цих автомобілях.

Принципово можливим є інший, більш радикальний підхід до розв'язання проблеми мінімізації негативного впливу автомобілів на навколишнє середовище – застосування альтернативних силових установок. Цей підхід передбачає застосування у складі силової установки автомобіля разом із ДВЗ двигунів інших типів (так звані гібридні силові установки) або повну відмову від поршневих ДВЗ на користь двигунів інших схем.

Перспективи застосування на автомобілях альтернативних типів двигунів обумовлені насамперед тим, що більшість із них дають викиди шкідливих речовин у кілька разів, а інколи на кілька порядків менше, ніж найкращі сучасні ДВЗ.

Деякі з альтернативних силових установок (наприклад, гібридні установки) вже набули широкого визнання, випускаються масово і рішуче витісняють з ринку традиційні поршневі ДВЗ.

Розглянемо деякі найбільш перспективні типи двигунів, що є альтернативою традиційним ДВЗ.

## 2. Електромобілі

Один із підходів до розв'язання екологічних проблем передбачає створення і розширене використання акумуляторних електромобілів. Оскільки при своїй роботі сучасні акумулятори не викидають у повітря ніяких шкідливих речовин, акумуляторні електромобілі вважаються екологічно чистим (у місці безпосереднього використання) видом транспорту.

Електромобілі мають давню історію. Наприкінці XIX ст. вони вважалися більш перспективними, ніж бензинові та парові автомобілі. За показниками питомої потужності, компактності і простоти, а також за характеристикою крутного моменту (який є максимальним при найнижчих оборотах, тобто в момент початку руху) поршневий двигун поступається електромотору.

Основною проблемою, що виникає при створенні електромобілів і обмежує їх використання, є джерела електроенергії. Усі типи акумуляторних батарей за питомою енергоємністю і вартістю значно поступаються звичайному бензобаку. Теоретична максимально досяжна густина енергії на одиницю маси для свинцево-кислотних батарей становить 160 Вт·год/кг, реальна для свинцево-кислотних батарей – 35...50 Вт·год/кг, реальна для бензину – 12 000 Вт·год/кг. Тому для забезпечення прийняттого запасу ходу і максимальної швидкості електромобіль має везти замість корисного вантажу сотні кілограмів об'ємних акумуляторних батарей.

Перспективними типами акумуляторних батарей вважаються такі:

- нікель-кадмієві;
- нікель-металогідридні;
- літієво-іонні;
- натрієво-сірчані.

Показники найбільш перспективних акумуляторів наведено у табл. 9.1.

Кожен тип батарей має свої переваги і недоліки. Наприклад, свинцево-кислотні батареї здатні віддавати велику потужність при інтенсивному розряді, але запасують відносно мало енергії.

Таблиця 9.1 – Показники деяких акумуляторних батарей

Види акумуляторних батарей	Питома енергоємність, Вт·год/кг	Питома потужність, Вт/кг	Ресурс, цикли
свинцево-кислотні	35...50	250...400	500
нікель-кадмієві	50...65	200	1000
нікель-металогідридні	70...90	200	1000
натрій-нікельхлоридні	90...100	130	1000
літієво-іонні	100...150	300	1200
натрієво-сірчані	100	120	800
ультраконденсатори	4	8000	>10 <sup>5</sup>

Важливим є експлуатаційний ресурс акумуляторних батарей. Ресурс у 500 циклів означає, що приблизно через три роки або 50000 км пробігу автомобіля акумулятори треба замінювати.

Перспективним є комбіноване використання на автомобілях різних типів батарей: одні працюють при інтенсивних розрядах, інші забезпечують великий запас енергії.

Проводяться роботи над ультраконденсаторами, які можуть істотно поліпшити здатність бортової енергосистеми сприймати короткочасні пікові навантаження.

Сьогодні ніхто не бере під сумнів можливість розв'язання за допомогою спеціалізованих електромобілів екологічних проблем на локальному рівні (закриті приміщення, курортні зони, спортивні комплекси, мегаполіси, промислово-виробничий транспорт). Процес впровадження спеціалізованих електромобілів відбувається достатньо інтенсивно. Проте багато фахівців указують на помилковість спроб розв'язання глобальних екологічних і економічних проблем автотранспорту шляхом впровадження акумуляторних електромобілів. Серед причин називають такі:

- електромобілі прив'язані до централізованих енергосистем і виробників електроенергії;
- виробництво електроенергії на електростанціях супроводжується забрудненням навколишнього середовища, не меншим, ніж від звичайних автомобілів, а в мережах розподілу електроенергії виникають додаткові втрати;
- забезпечення функціонування електромобілів потребує створення дорогої інфраструктури з їх зарядки і техобслуговування;
- виробництво акумуляторних батарей, а також їх утилізація є екологічно небезпечними;
- динамічні властивості автомобілів з акумуляторними батареями не кращі за аналогічні з ДВЗ, тому що приходиться завищувати показники потужності та масові показники джерел електроживлення для можливої їх роботи на неоптимальних режимах, наприклад розгінних.

Найближчим часом прогнозують істотне здешевлення і удосконалення енергоємних акумуляторних батарей, що дозволить розширити використання електромобілів на автомобільному транспорті.

### 3. Гібридні силові установки.

Застосування гібридних силових установок дозволяє поєднати переваги автомобіля з традиційним ДВЗ і електромобіля. Сьогодні відомо кілька схем гібридних силових установок з використанням двигунів різних типів. Аналіз переваг і недоліків можливих схем є самостійним питанням, що виходить за межі цього курсу. Одна зі схем гібридних силових установок (так звана послідовна), яка дозволяє пояснити причини одержання поліпшених техніко-економічних і екологічних показників, наведена на рис. 9.1. У цій схемі тяговий електродвигун отримує електричний струм від акумуляторної батареї (АКБ), генератора, батареї ультраконденсаторів або від усіх цих джерел одночасно.

Під час руху по місту, коли потрібна незначна потужність, тяговий електродвигун живиться від АКБ. ДВЗ при цьому може взагалі не працювати або працювати лише для заряджання АКБ.

У разі прискорення автомобіля, коли потрібна відразу велика потужність, до АКБ підключаються конденсатори, які хоча і мають малу енергоємність, але можуть короткочасно давати електродвигуну велику електричну потужність.

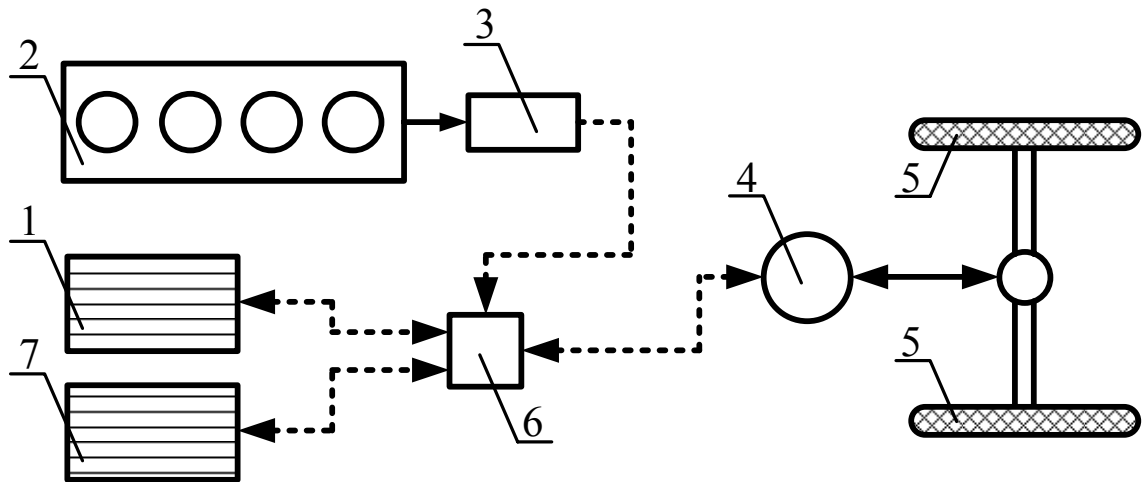


Рисунок 9.1 – Принципова схема гібридної силової установки з послідовним включенням електричних машин:

1 – АКБ; 2 – ДВЗ; 3 – генератор; 4 – тяговий електродвигун; 5 – ведучі колеса; 6 – блок керування; 7 – блок конденсаторів.

При великих навантаженнях тяговий електродвигун потребує підвищеної потужності; в такому випадку блок керування підключає до роботи генераторну установку (ДВЗ + генератор).

Блок керування здійснює управління роботою всіх агрегатів, які входять до складу силової установки, зокрема, здійснює їх підключення – відключення, задає потрібні режими ДВЗ та електричних машин.

Найефективнішим застосування гібридних силових установок буде в умовах міста, для яких характерні помірні швидкості руху та часта зміна режимів. В цих умовах ДВЗ може взагалі не працювати, і тоді викидів відпрацьованих газів із шкідливими речовинами, які містяться в них, також не буде. Якщо запас енергії у АКБ зменшується і виникає потреба її зарядки, ДВЗ автоматично запускається, але працює не на змінних режимах, як у автомобілів традиційного типу, а тільки на одному постійному режимі, що забезпечує найбільшу економічність роботи ДВЗ.



У разі необхідності зменшення швидкості автомобіля (гальмування) тяговий електричний двигун автоматично переводиться у генераторний режим роботи і вироблена ним енергія передається в АКБ. Це дозволяє здійснити часткову рекуперацію кінетичної енергії маси автомобіля, і таким чином знизити витрату палива при експлуатації автомобіля.

Така організація роботи ДВЗ і силової установки в цілому суттєво (майже вдвічі) зменшує витрати палива на 100 км пробігу, а завдяки зменшенню кількості відпрацьованих газів відповідно зменшуються викиди шкідливих речовин у повітря.

Крім того, забезпечити мінімальну токсичність відпрацьованих газів двигуна, який працює на одному сталому режимі, значно легше, ніж у випадку зміни у широкому діапазоні частот обертання колінчастого вала та потужності. Тому установки гібридної схеми, обладнані сучасними паливними апаратурами, системами регулювання і нейтралізації шкідливих речовин у відпрацьованих газах, відповідають сучасним і перспективним екологічним нормам.

Недоліками автомобілів з гібридними силовими установками є їх висока вартість і всі недоліки електромобілів, пов'язані з виробництвом, експлуатацією і утилізацією акумуляторних батарей.

#### 4. Газотурбінні двигуни.

Газотурбінні двигуни (ГТД) належать до теплових двигунів і мають суттєві екологічні переваги перед ДВЗ. Вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах ГТД на порядок нижче, ніж у ДВЗ. Це обумовлено такими причинами:

- стаціонарний характер процесів сумішоутворення та згоряння палива;
- значно більший за одиницю загальний коефіцієнт надлишку повітря у ГТД;
- робота на паливі, яке не містить шкідливих речовин (свинець, марганець, сірка) або речовин, що мають підвищену здатність до утворення канцерогенів при згорянні (ароматичних вуглеводнів).

Все це забезпечує повне згоряння палива з мінімальною кількістю СО, СН, сажі, канцерогенів, а також відносно низьку темпера-

туру продуктів згоряння, при якій утворення оксидів азоту відбувається дуже повільно.

Крім екологічних, ГТД має також експлуатаційні переваги:

- висока питома потужність;
- сприятлива залежність крутного моменту від частоти обертання вала відбору потужності;
- двигун не глохне при наїзді на абсолютну перешкоду, навіть при повній зупинці машини;
- відсутність системи охолодження;
- більш просте обслуговування, ніж у ДВЗ;
- триваліший термін служби масла, яке практично не взаємодіє з гарячими газами;
- полегшений холодний запуск двигуна без необхідності збагачення паливоповітряної суміші;
- здатність приймати повне навантаження через кілька хвилин після пуску з холодного стану.

Ці переваги сприяють розробкам ГТД, призначених як для вантажних, так і для легкових автомобілів. Найприйнятнішим для автомобілів вважають двовальний ГТД, принципова схема якого наведена на рис. 9.2.

Газотурбінний двигун працює наступним чином.

Атмосферне повітря потрапляє у відцентровий компресор 1, де відбувається підвищення тиску. Далі стиснуте повітря надходить до регенератора теплоти 2, в якому повітря підігрівається відпрацьованими газами (ВГ). Підігріте повітря подається в камеру згоряння (КЗ) 3, куди також подається і паливо (як правило, авіаційний керосин).

Процес згоряння у камері 3 відбувається при постійному тиску. Продукти згоряння, які виходять із камери 3 і мають високу температуру і тиск, надходять до першої турбіни 4, де частково розширюються. Потужність турбіни 4 повністю витрачається на привід компресора 1.

Після першої турбіни гази мають ще достатню здатність до виконання роботи (ексергію). Вони надходять до другої турбіни (силової), де розширюються до тиску, близького до атмосферного. Потужність, яку розвиває силова турбіна, передається у трансмісію автомобіля.

Таким чином, між валом, на якому знаходиться компресор і перша турбіна, і валом із силовою турбіною немає механічного зв'язку, що забезпечує сприятливу характеристику крутного моменту.

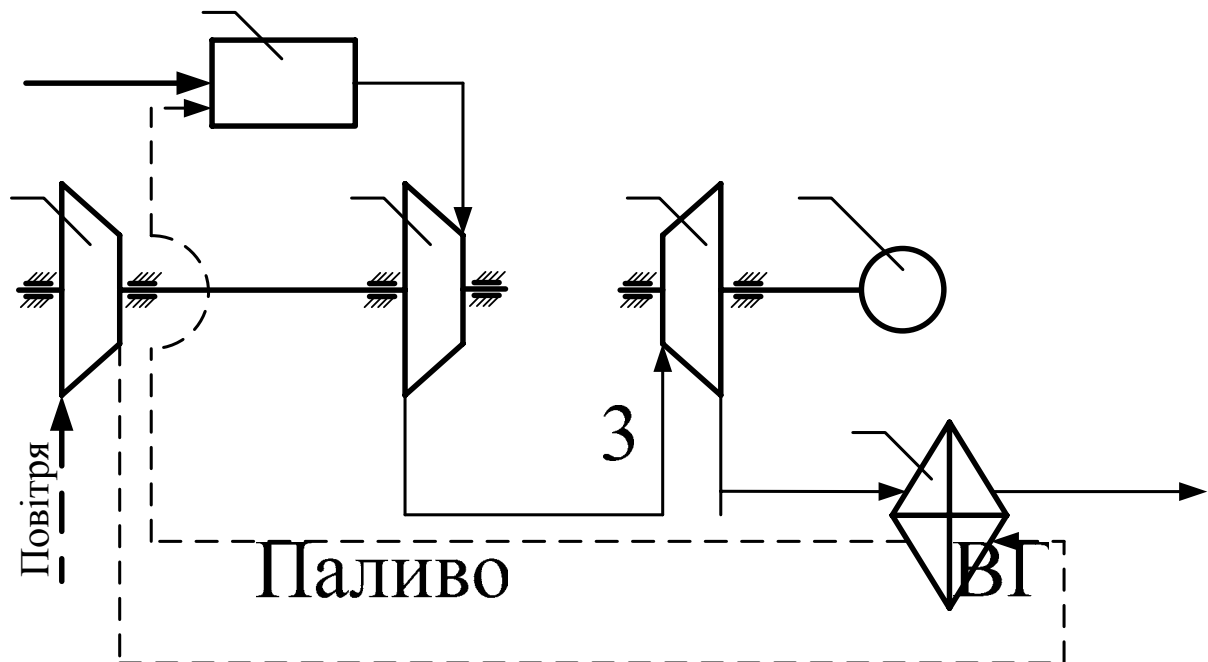


Рисунок 9.2 – Принципова схема двовального ГТД із регенератором: 1 – компресор; 2 – регенератор; 3 – камера згоряння; 4 – перша турбіна; 5 – друга (силова) турбіна; 6 – трансмісія автомобіля.

У транспортних ГТД в якості регенератора теплоти 2 використовують теплообмінник, що обертається (типу Юнгстрем). Він являє собою ротор із пористого металевого, керамічного або метало-керамічного матеріалу. Відпрацьовані гази з турбіни проходять через цей ротор і нагрівають його. Обертаючись, нагріта частина ротора підходить до колектора, по якому повітря від компресора 1 підводиться до камери згоряння 3. Таким чином, частина енергії відпрацьованих газів використовується для підігріву повітря, що подається до камери згоряння.

В якості прикладу можна навести автомобільний ГТД, розробленого фірмою Daimler-Benz AG. Двигун виконано за двовальною схемою з теплообмінником типу Юнгстрем. Розрахункова потуж-  
**ВГ**  
**Стиснуте**  
**повітря**

ність цього двигуна становить 110 кВт при частоті обертання вала першої турбіни  $63000 \text{ хв}^{-1}$ , максимальний момент – 550 Н·м. Двигун розрахований на роботу при температурі газів на вході в першу турбіну  $1620 \text{ }^\circ\text{C}$ . Основні розміри двигуна такі:

- діаметр колеса відцентрового компресора 180 мм;
- діаметр колеса першої турбіни 165 мм;
- діаметр колеса другої турбіни (силової) 170 мм.

У разі встановлення двигуна на автомобіль масою 1600 кг витрата палива становитиме:

- при русі за містом зі швидкістю 90 км/год – 5,1 л/100 км;
- при русі за містом зі швидкістю 120 км/год – 6,7 л/100 км;
- при русі по місту – 14 л/100 км.

ГТД разом із повітряним фільтром і приводом допоміжних агрегатів має масу 240 кг, довжину 770 мм, ширину 650 мм, висоту 550 мм.

У табл. 9.2 наведено основні показники деяких експериментальних зразків двовалових автомобільних ГТД.

Таблиця 9.2 – Параметри деяких автомобільних ГТД

	Модель ГТД			
	GT-601 (США)	ГАЗ- 9031	VW- GT-150 (ФРН)	AGT- 100 (США)
Номінальна потужність при стандартних атмосферних умовах, кВт	560	480	100	74,5
Температура газів перед турбіною, К	1355	1330	1283	1563
Ступінь підвищення тиску в компресорі	7	6,25	4,5	4,5
Мінімальна питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год)	238	240	290	240
Витрата повітря, кг/с	2,27	2,75	0,84	0,35
Маса двигуна, кг	988	950	210	134

Зразки двовалових ГТД оснащені обертовими регенераторами, регульованими сопловими апаратами турбін, а також системами керування зв'язком роторів турбін.

Подальший розвиток автомобільних газотурбінних двигунів пов'язується з використанням нових керамічних і металокерамічних матеріалів для робочого колеса і соплових апаратів турбін, теплообмінників і камер згоряння, а також із застосуванням сучасних електронних систем керування. Особливо слід зазначити ефективність застосування автомобілів із ГТД у районах із газоконденсатними родовищами (використання дешевих газоконденсатних палив), з холодним кліматом (паливна економічність ГТД підвищується на 6...8 %), в екологічно небезпечних місцях (кар'єри, рудники тощо).

ГТД мають ряд недоліків, які, незважаючи на суттєві екологічні переваги, стримують їх застосування на автомобілях і наземних транспортних машинах. Серед таких недоліків:

- підвищений рівень шуму;
- підвищені на 15...20 % експлуатаційні витрати палива у порівнянні з дизелем тієї самої потужності;
- використання більш дорогого палива в порівнянні з бензином і дизпаливом (авіаційний керосин);
- значна втрата потужності при збільшенні температури атмосферного повітря (1 % на 1 °С);
- збільшені розміри повітряних фільтрів, оскільки витрата повітря у ГТД, у порівнянні з дизелем тієї самої потужності більша у 3...5 разів;
- погіршені динамічні характеристики автомобіля;
- низька гальмівна потужність;
- складність переключення передач, що вимагає створення спеціальних коробок передач;
- висока вартість внаслідок технологічної складності виробництва (у порівнянні з дизелем аналогічної потужності вартість більша у 3...5 разів).

## 5. Паросилові установки

Паросилові установки (ПСУ) – це найстаріший тип теплового двигуна, який працює за циклом із зовнішнім підведенням теплоти. Перший паровий автомобіль було побудовано у 1769 р. французом Кюньо. У 20-30 роки ХІХ ст. в Англії використовували парові омнібуси, які на хорошій дорозі могли розвивати швидкість до 30 км/год. Деякий час парові автомобілі конкурували з автомобілями, які мали ДВЗ. Однак через низький ККД (5...7 %) парові двигуни були витіснені ДВЗ.

Основною принциповою причиною низького ККД перших паросилових установок були низька температура пари, виробленої паровим котлом, а також висока температура, при якій відбувалося відведення теплоти у навколишнє середовище.

Сьогодні паросилові установки становлять собою основу великої енергетики. Теплові електричні станції працюють за вдосконаленими циклами і мають ККД 39...41 %.

Найпростіша принципова схема ПСУ з перегріванням пари показана на рис. 9.3.

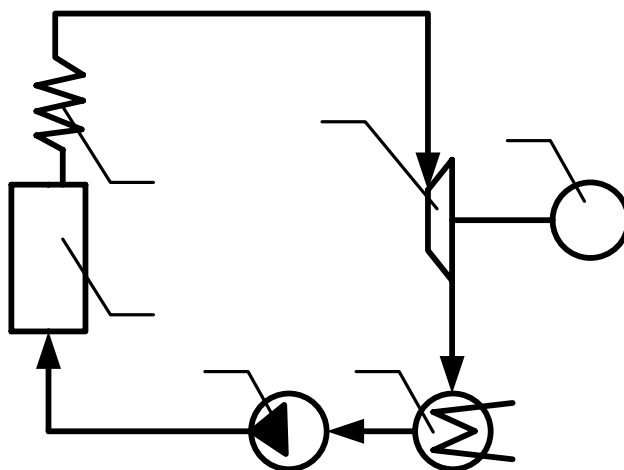


Рисунок 9.3 – Принципова схема паросилової установки:  
1 – котел; 2 – пароперегрівач; 3 – турбіна; 4 – конденсатор; 5 – насос; 6 – споживач потужності

Згоряння палива (будь-якого) відбувається в топці парового котла 1. Завдяки тому, що процес згоряння відділений від робочого тіла і має стаціонарний, безперервний характер, в якості палива можна використовувати практично будь-яку речовину, що горить. До того ж, це створює сприятливі умови для якісного сумішоутворення та повного згоряння палива при відносно низькій температурі продуктів згоряння. Все це створює широкі можливості для мінімізації викидів шкідливих речовин при роботі двигуна.

Теплота, яка виділяється при згорянні палива у котлі 1, передається робочому тілу, де витрачається на його пароутворення. Далі пара потрапляє у пароперегрівач 2, де її температура збільшується (цей процес називається перегріванням пари). Перегріта пара надходить до розширювальної машини 3 (турбіни або машини об'ємного типу, наприклад – поршневої). У розширювальній машині 3 пара адіабатично розширюється і робота розширення передається споживачу 6. Споживачем може бути електричний генератор або трансмісія автомобіля.

Пара, яка відпрацювала в машині 3, надходить до конденсатора 4, де від неї відводять теплоту, внаслідок чого відбувається фазовий перехід пари у рідину (конденсація).

У стаціонарних установках теплоту конденсації відводять у воду. У транспортних установках теплоту треба відводити у повітря, тому конденсатор має вигляд радіатора автомобіля, тільки більших розмірів. На виході з конденсатора робоче тіло перебуває у рідкому стані. Далі насосом 5 рідка фаза подається в котел 1 і цикл починається спочатку.

У сучасних ПСУ використовують різноманітні робочі тіла (вода, фреони, спирти тощо). Дослідні зразки автомобілів з ПСУ можуть починати рух з місця через кілька хвилин після запуску.

Сучасні паросилові установки мають такі переваги:

- низька токсичність відпрацьованих газів;
- сприятлива характеристика крутного моменту (що дозволяє спростити коробку передач);
- можливість працювати на будь-якому паливі.

Проте навіть сучасні ПСУ мають певні недоліки, які стримують їх застосування на автомобільному транспорті, а саме:

- менша, ніж у ДВЗ, економічність (ККД на рівні 20 %);

- більша питома маса;
- великі габарити конденсатора.

Для збільшення ККД ПСУ необхідно підвищувати максимальну температуру пари, що потребує вирішення проблеми міцності основних деталей установки. Розробка нових жаростійких матеріалів створює передумови для підвищення температури пари у транспортних ПСУ і завдяки цьому – доведення їх ККД до рівня бензинових двигунів. Однак нерозв'язаною лишається проблема надто великих розмірів конденсатора.

Власне, саме ці недоліки призвели до того, що на транспорті ПСУ були витиснені двигунами внутрішнього згоряння та ГТД.

## 6. Двигун Стірлінга

Схема роботи двигуна Стірлінга наведена на рис. 9.4.

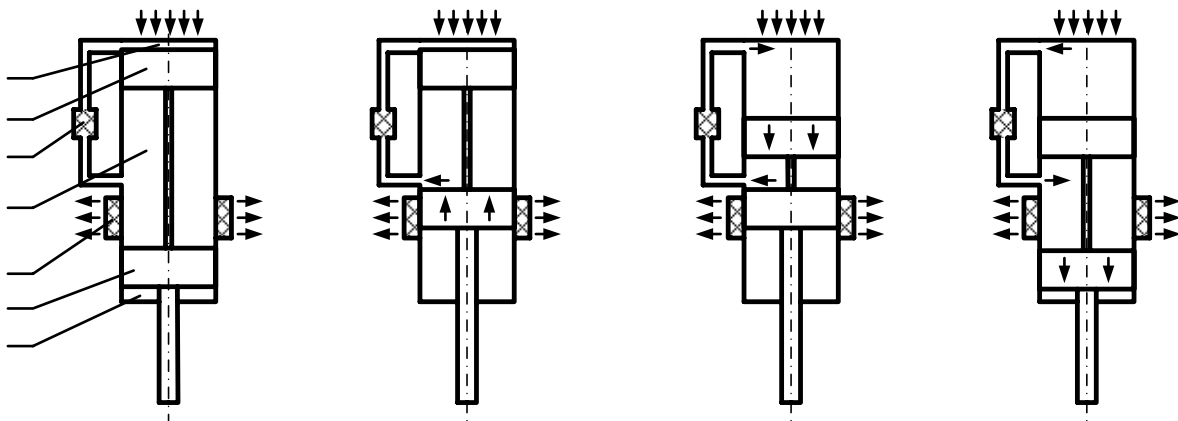


Рисунок 9.4 – Схема роботи двигуна Стірлінга:

1 – робочий поршень; 2 – холодильник; 3 – холодна порожнина; 4 – поршень-витискач; 5 – гаряча порожнина; 6 – теплообмінник-регенератор теплоти; 7 – буферна порожнина;  $Q_1$  – підведена теплота;  $Q_2$  – відведена теплота.

У 1816 р. шотландським священиком Робертом Стірлінгом було винайдено поршневий двигун із зовнішнім підведенням теплоти. На той час він відрізнявся великими розмірами і малим коефіцієнтом корисної дії. Удосконалювання двигуна відбувалося повільно. До 1855 р. він мав потужність 2 к.с., ККД 5...7%, вагу 4 т



і займав 21 м<sup>3</sup> простору. Здавалося, він так і не одержить подальшого розвитку. Однак починаючи з 1937 р. спочатку у Нідерландах (фірма “Філіпс”), а потім і у США знову зацікавилися цим двигуном.

Двигун має робочий поршень 1 і поршень-витискач 4, розташовані в одному циліндрі.

Штоки поршнів проходять один усередині іншого і з'єднуються з кривошипно-шатунним механізмом, який забезпечує їх зворотно-поступальний рух.

Верхня частина циліндра постійно нагрівається від будь-якого джерела теплоти  $Q_1$  (камери згоряння твердого, рідкого чи газоподібного палива, електронагрівника тощо), нижня – постійно охолоджується за допомогою холодильника 2, при цьому відводиться теплота  $Q_2$ . Згоряння палива у спеціальній камері дозволяє створити умови для мінімізації кількості шкідливих речовин у продуктах згоряння.

Простір усередині циліндра поділяється на дві порожнини: гарячу 5 і холодну 3. Теплообмінник 6 підвищує економічність роботи двигуна, порожнина 7 виконує функцію буфера.

Робочий цикл двигуна відбувається за чотири такти наступним чином.

I такт – охолодження. Поршень-витискач знаходиться в гарячому просторі, робочий поршень – у крайньому нижньому положенні. Основна частина газу охолоджується в холодній порожнині.

II такт – стиск. Робочий поршень рухається вгору, стискаючи холодний газ.

III такт – нагрівання. Поршень-витискач рухається вниз. Холодний газ перекачується у простір над ним, попередньо підігріваючись у теплообміннику. Відбувається нагрівання газу в гарячій порожнині.

IV такт – розширення (робочий хід). Гарячий газ розширюється, виконує корисну роботу, водночас нагріває теплообмінник. Робочий поршень перекачує газ, що знаходиться під ним, у буферну порожнину, стискає його і таким чином запасє енергію для наступного стиску робочого тіла (газу).

Переваги двигуна Стірлінга у сучасному виконанні такі:

– ККД двигуна може досягати 50 %, що значно перевищує ККД газових турбін (25...28 %), кращих зразків карбюраторних двигунів (28...30 %) і кращих моделей дизельних двигунів (32...40 %);

– є можливість забезпечити роботу двигуна без забруднення атмосфери відпрацьованими газами;

– на режимі примусового повертання двигун створює великий гальмівний момент;

– двигун працює безшумно і не створює вібрації;

– двигун може працювати на твердому, рідкому і газоподібному паливі, а також на інших джерелах теплоти, наприклад – радіоізотопних.

Недоліки двигуна Стірлінга такі:

– висока вартість, обумовлена необхідністю використання жароміцних матеріалів для нагрівника;

– великі розміри теплообмінника для відведення теплоти у навколишнє середовище;

– низька надійність нагрівника.

Наразі двигун Стірлінга можна вважати перспективним для супутників і кораблів, де вони працюють на постійних режимах, близьких до максимальних навантажень. Крім того, на судах є можливість охолоджувати робоче тіло забортною водою, що забезпечує невеликі розміри холодильника.

Незважаючи на екологічні переваги та високу економічність, двигуни Стірлінга для автомобілів поки що перебувають у стадії дослідних зразків.

## 7. Паливні елементи

Наразі існує технічна можливість одержувати енергію для живлення тягових електродвигунів автомобіля не від акумуляторних батарей, а від різновиду гальванічних елементів – так званих паливних елементів (ПЕ), в яких внаслідок електрохімічних процесів відбувається пряме перетворення хімічної енергії в електричну. Схему ПЕ, що працює на водні та кисні, наведено на рис. 9.5.

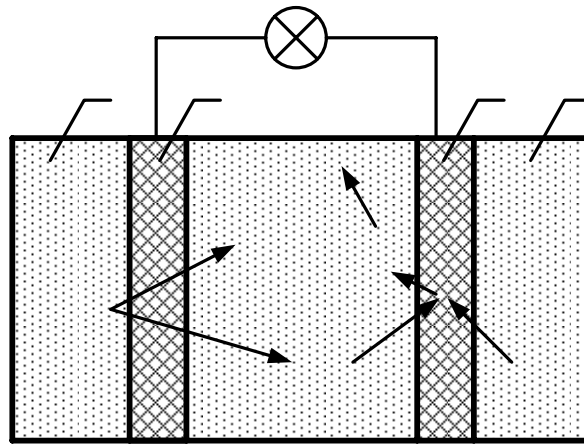


Рисунок 9.5 – Принципова схема паливного елемента:  
1 – кисень під тиском; 2 – електроди; 3 – водень під тиском.

У ПЕ є пористі електроди (платинові, нікелеві, та з інших металів), занурені у розчин електроліту. До електродів під тиском підводяться реагенти (найкращими є водень і кисень). Коли молекули кисню проходять крізь електрод, вони захоплюють електрони і перетворюються на від'ємно заряджені іони. Ці іони рухаються через електроліт до другого електрода, де розряджаються і вступають у реакцію з воднем, що супроводжується утворенням води і виникненням потоку електронів, тобто електричного струму.

Паливний елемент працює з термічним ККД, близьким до одиниці, і загальним ККД на рівні 0,6...0,7. Такий рівень ККД і відсутність шкідливих викидів при роботі киснево-водневого ПЕ роблять його дуже привабливим джерелом енергії.

Однак паливні елементи поки що мають низку суттєвих недоліків, а саме:

- висока вага (мінімальна питома вага найкращих зразків у 2...4 рази перевищує питому вагу ДВЗ);
- висока вартість (найкращі характеристики мають паливні елементи з платиновими електродами);
- у паливних елементах може бути використано різні реагенти, з яких на борту автомобіля можна одержати водень (гідразин, метанол, вуглеводневі палива), але найкращі масово-габаритні показники мають елементи, де як реагенти використовують чистий водень і кисень (проблема зберігання на борту автомобіля достат-

ньої кількості водню досі не знайшла задовільного розв'язання. Крім того, чистий водень сам по собі є дорогим).

Виходячи з існуючих співвідношень позитивних і негативних властивостей паливних елементів, прогноз їх масового застосування на автомобілях на найближчу та середньострокову перспективу є песимістичним.

### **Контрольні запитання**

1. Які типи силових установок можуть бути альтернативою традиційним ДВЗ?

2. Опишіть переваги і недоліки електромобілів в порівнянні з автомобілями з поршневими ДВЗ з точки зору впливу транспортного засобу на навколишнє середовище.

3. Опишіть переваги і недоліки автомобілів з гібридними силовими установками в порівнянні з автомобілями зі звичайними поршневими ДВЗ з точки зору впливу транспортного засобу на навколишнє середовище.

4. Опишіть переваги і недоліки автомобілів з газотурбінними двигунами в порівнянні з автомобілями з традиційними поршневими ДВЗ з точки зору впливу транспортного засобу на навколишнє середовище.

5. Опишіть переваги і недоліки автомобілів з паросиловими установками в порівнянні з автомобілями з поршневими ДВЗ з точки зору впливу транспортного засобу на навколишнє середовище.

6. Опишіть переваги і недоліки автомобілів з двигунами Стірлінга в порівнянні з автомобілями з поршневими ДВЗ з точки зору впливу транспортного засобу на навколишнє середовище.

7. Опишіть переваги і недоліки автомобілів з паливними елементами в порівнянні з автомобілями з поршневими ДВЗ з точки зору впливу транспортного засобу на навколишнє середовище.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Канило П.М. Екологічні проблеми автомобільного транспорту: навч. посібник / Канило П.М., Пелепейченко В.І. – Х.: Військ. ін-т ВВ МВС України, 2005. – 114 с.
2. Баб'як О.С. Екологічне право України: навч. посібник / Баб'як О.С., Біленчук П.Д., Чирва Ю.О. – К.: Атіка, 2000. – 216 с.
3. Канило П.М. Автомобиль и окружающая среда: учеб. пособие / Канило П.М., Бей И.С., Ровенский А.И. – Х.: Прапор, 2000. – 304 с.
4. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / Звонов В.А. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
5. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Говорущенко Н.Я. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
6. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / Гутаревич Ю.Ф. – К.: Выща шк., 1991. – 179 с.
7. Морозов К.А. Токсичность автомобильных двигателей / Морозов К.А. – М.: Легион-Автодата, 2000. – 80 с.
8. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие / Кульчицкий А.Р. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2000. – 256 с.
9. Марков В.А. Токсичность отработавших газов дизелей / Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
10. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни: підручник / Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. – К.: Арістей, 2004. – 476 с.