

Міністерство освіти і науки України  
Національний транспортний університет

Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун,  
А.О. Корпач, Л.П. Мержиєвська

# ЕКОЛОГІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

Навчальний посібник

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів  
вищих навчальних закладів



Київ  
2006

УДК 504.5:629.33](075.8)  
ББК 20.1я73+39.3я73  
Е45

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів  
(Лист № 14/18.2-1446 від 25.06.2005 р.).

**Рецензенти:** **А.З. Філіппов**, доктор технічних наук, професор;  
**Г.М. Легенький**, кандидат технічних наук.

**Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О.,  
Мерживська Л.П.**

Е45 Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. – К.:  
Арістей, 2006. – 292 с.  
ISBN 966-8458-86-9

У навчальному посібнику викладені загальні положення екології та питання захисту довкілля від забруднення, спричиненого автомобільним транспортом. Наведені в посібнику матеріали будуть корисними в процесі підготовки спеціалістів до майбутньої інженерної діяльності й допоможуть їм приймати такі конкретні екологічно зважені рішення, які виключали б забруднення навколишнього природного середовища у процесі функціонування автомобільного транспорту.

Для студентів спеціальностей транспортного профілю “Автомобілі та автомобільне господарство”, “Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання”, “Двигуни внутрішнього згорання”, “Колісні та гусеничні транспортні засоби”, “Організація і регулювання руху”, “Транспортні системи вантажних перевезень і логістичне управління”, “Транспортні системи міст”, “Організація перевезень та управління на транспорті”, “Організація міжнародних перевезень” та “Економіка підприємств”. Посібник можуть використовувати в процесі навчання студенти інших спеціальностей, а також слухачі курсів підвищення кваліфікації, працівники промислових підприємств, державні службовці.

**УДК 504.5:629.33](075.8)**  
**ББК 20.1я73+39.3я73**

ISBN 966-8458-86-9

© Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов,  
А.Г. Говорун, А.О. Корпач,  
Л.П. Мерживська, 2006  
© Арістей, 2006

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
<b>Розділ 1. ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Наука про довкілля та її місце у процесі розвитку суспільства .....	8
1.2. Основи вчення про біосферу .....	15
1.2.1. Організм та середовище.....	17
1.2.2. Популяції.....	21
1.2.3. Угрупування та екосистеми.....	22
1.3. Кругообіг речовин .....	27
1.4. Екологічні аспекти науково-технічного прогресу .....	31
1.5. Види антропогенного впливу на довкілля .....	37
1.5.1. Природні ресурси.....	37
1.5.2. Джерела забруднення.....	38
1.5.3. Види забруднення.....	39
1.5.4. Санітарно-гігієнічне нормування.....	42
<b>Розділ 2. ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ .....</b>	<b>45</b>
2.1. Екологічні механізми природоохоронної діяльності в Україні .....	45
2.2. Захист атмосфери .....	62
2.3. Водні ресурси та їх захист .....	65
2.4. Літосфера та її раціональне використання .....	69
<b>Розділ 3. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ .....</b>	<b>73</b>
3.1. Загальні положення .....	73
<b>Розділ 4. ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ .....</b>	<b>86</b>
4.1. Автомобільний транспорт – одне з основних штучних джерел забруднення довкілля .....	86
4.2. Основні шкідливі речовини, що надходять у довкілля під час роботи двигунів автомобілів .....	95
4.3. Шумове забруднення довкілля .....	111
4.4. Вібрація автомобіля і шляхи її зменшення .....	125
4.5. Електромагнітне випромінювання автомобілів .....	128
4.6. Забруднення продуктами зношування автомобілів .....	132
4.7. Виробничі відходи автотранспортних підприємств та шляхи їх утилізації .....	134

<b>Розділ 5. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ТА ЇХ НОРМУВАННЯ</b> .....	142
5.1. Вимірювальна та газоаналізуюча апаратура для визначення екологічних показників автомобілів .....	142
5.2. Розрахунок масових викидів шкідливих речовин автомобілів та соціально-економічних збитків, що завдаються довкіллю .....	167
5.3. Нормування шкідливих викидів автомобілів та їх двигунів .....	181
<b>Розділ 6. МЕТОДИ ПОКРАЩАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ</b> .....	200
6.1. Зменшення шкідливих викидів автомобілів їх нейтралізацією та уловлюванням .....	200
6.2. Зменшення забруднення довкілля використанням перспектив- них альтернативних палив .....	213
6.3. Зменшення забруднення довкілля раціональною експлуатацією автомобілів.....	242
6.4. Зменшення шкідливих викидів автомобілів вдосконаленням конструкцій двигунів ДВЗ внутрішнього згорання.....	257
6.5. Застосування нових типів силових установок.....	274
ЛІТЕРАТУРА .....	289

## ВСТУП

Життя людей, їх трудова діяльність, побут та відпочинок проходять у складній системі взаємопов'язаних соціальних, природних та штучно створюваних факторів і явищ, які характеризують даний стан природи, етап розвитку суспільства і його взаємодію з природою. Ця система включає повітря, воду, ґрунт, рослинність, тваринний світ і всі досягнення науково-технічного прогресу, що оточують людину і створюють умови для її існування. Цю систему, як правило, називають навколишнім середовищем чи довкіллям. Щоправда, в міжнародних угодах під терміном "навколишнє середовище" мають на увазі лише оточуюче природне середовище.

Тисячоліттями люди не відчували відповідальності за збереження природи, ставилися до неї як до невичерпного джерела, вмістилища ресурсів і місця скидання відходів.

Сучасний стан довкілля визначають як стан глобальної екологічної кризи, і визначальним для людства зараз є формування екологічної свідомості, культури і цілісного екологічного світогляду. Саме тому, екологічна освіта і виховання разом з розвитком законодавчої бази та законодавчого обмеження рівнів забруднення стали основними напрямками державної екологічної політики. Через це в усіх навчальних закладах для спеціалістів різних галузей введено обов'язкове вивчення екологічних дисциплін. Більшість пригод з екологічно небезпечними наслідками трапляється переважно з вини людини і дуже часто саме через її необізнаність.

Екологічна підготовка інженерів повинна проводитись у двох напрямках. Перший – передбачає підготовку із загальних питань екології з тим, щоб майбутній спеціаліст сприймав екологічну проблему в комплексі і був переконаним прибічником її вирішення. Другий напрям підготовки допоможе спеціалістові в майбутній інженерній діяльності приймати такі конкретні рішення, які виключали б забруднення довкілля в процесі функціонування автомобільного транспорту та автотранспортного підприємства.

Студенти, які навчаються за спеціальностями транспортного напрямку згідно з навчальними планами вивчають дисципліну "Основи

екології". Мета вивчення дисципліни майбутніми фахівцями в галузі транспорту полягає в тому, щоб вони: уявляли, в якому стані перебуває зараз довкілля і які чинники зумовлюють його існування; визначилися, які існують джерела забруднення, їх вплив на довкілля і людину та які заходи можуть зменшити техногенний тиск транспортної системи на природу; були обізнаними із законодавчими актами та системою стандартів у сфері охорони та дбайливого використання природних ресурсів; оволоділи знаннями щодо методів вимірювання концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах транспортних засобів, мали навички роботи з газоаналізуючою апаратурою; оволоділи методикою розрахунку збитку, заподіяного довкіллю транспортом.

Насьогодні накопичено досить багато наукових знань у галузі охорони довкілля. Ці знання мають увійти у світогляд нового покоління, стати основою його професійної діяльності і повсякденного життя.

Висока забезпеченість життя потребує багато матеріальних благ, що, у свою чергу, потребує відповідних ресурсів для їх виготовлення, а також додаткових джерел енергії. Виробництво матеріальних та енергетичних ресурсів, спалювання палива і викидання у довкілля відходів та спрацьованих і тих, що відслужили свій вік, виробів призводить до накопичення відходів, які його забруднюють.

Негативний вплив нашого способу життя на довкілля може бути послаблений чи посилений залежно від рівня екологічної свідомості суспільства. Екологічна свідомість – це здатність розуміти нерозривний зв'язок людини і людства з природою, залежність благополуччя людей від цілісності й відносної незмінності природного середовища існування людини і застосування цього розуміння в практичній діяльності. Нерозумна зміна середовища життя на Землі в результаті діяльності людини, може вийти за межі адаптаційної здатності людства як біологічного виду.

Між трьома чинниками – чисельність населення, спосіб життя й екологічна свідомість – існує тісний зв'язок, що зумовлює екологічні наслідки

$$\text{екологічні наслідки} = \frac{\text{чисельність населення} \cdot \text{спосіб життя}}{\text{екологічна свідомість}}$$

Тобто вплив суспільства на довкілля прямо пропорційний чисельності людства і рівню його життя, а послабити негативні наслідки можна розвитком екологічної свідомості суспільства.

Одними з основних процесів, які створені людиною і шкідливо впливають на стан довкілля, є процеси, пов'язані з отриманням енергії в різних формах. Проблема зменшення забруднення довкілля є дуже складною. Тому все більш актуальним стає завдання екологічної підготовки спеціалістів, які працюють у галузях, функціонування яких пов'язане з цією проблемою. Такою галуззю є і транспорт, в першу чергу – автомобільний. Основними джерелами енергії на транспортних засобах є двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). Під час роботи цих двигунів, у процесі технічного обслуговування і ремонту автомобілів у довкілля надходить велика кількість шкідливих речовин. Особливо відчутним є забруднення довкілля в містах і населених пунктах, де, в основному, зосереджені транспортні засоби.

Проблема зниження шкідливого впливу автомобільного транспорту на довкілля є комплексною. Виходячи з цих положень і підготовлено навчальний посібник. Він призначений для студентів, які навчаються за спеціальностями "Автомобілі та автомобільне господарство", "Колісні та гусеничні транспортні засоби", "Двигуни внутрішнього згоряння", "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини та устаткування". Посібником також можуть користуватися студенти інших спеціальностей транспортного профілю.

# ЃĲĲ²Ĳ 1

## ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ

---

### 1.1. Наука про довкілля та її місце у процесі розвитку суспільства

З історії відомо, що, залежно від рівня розвитку суспільства, його потреб і проблем, мали місце періодичні зміни наук-лідерів. Якщо в XVI–XVIII ст. лідером серед наук була механіка, у XIX ст. – фізика, на початку XX ст. – хімія, ядерна фізика та електроніка, то на сучасному етапі лідером серед наук стала екологія.

Основи екології як науки започатковані в кінці XVIII ст. – на початку XIX ст. в період інтенсивного розвитку промисловості, коли стало помітно, що зміни, які почали виникати у живій природі під впливом діяльності людини, якщо не звертати на це увагу, можуть стати незворотними.

Фундатором ідеї про те, що з плином часу відбувається зміна форм життя і форм живих організмів внаслідок боротьби за існування живих організмів не лише між собою, але і з оточуючим середовищем, був Чарльз Дарвін (1859 р.). Ґрунтуючись на вченні Дарвіна про еволюцію, німецьким вченим-біологом Ернстом Геккелем у 1866 р. було запропоновано назву нової галузі науки – екологія, що складається з двох слів, які походять із грецької (ἔκω – дім, оселя, середовище і λωγίω – слово, вчення).

За класичним визначенням, **ἔκω ἔκω ἔκω** – це розділ біології, який вивчає взаємодію усього живого з органічними і неорганічними компонентами навколишнього середовища, тобто зв'язок між організмами і середовищем їх існування. Організми не лише пристосовуються до середовища свого існування, але і пристосовують середовище до себе, утворюючи складну систему зрегульованих умов,



які забезпечують життя на планеті. З усіх живих істот людина найбільше намагається змінити природу, використовуючи і пристосовуючи її до своїх потреб.

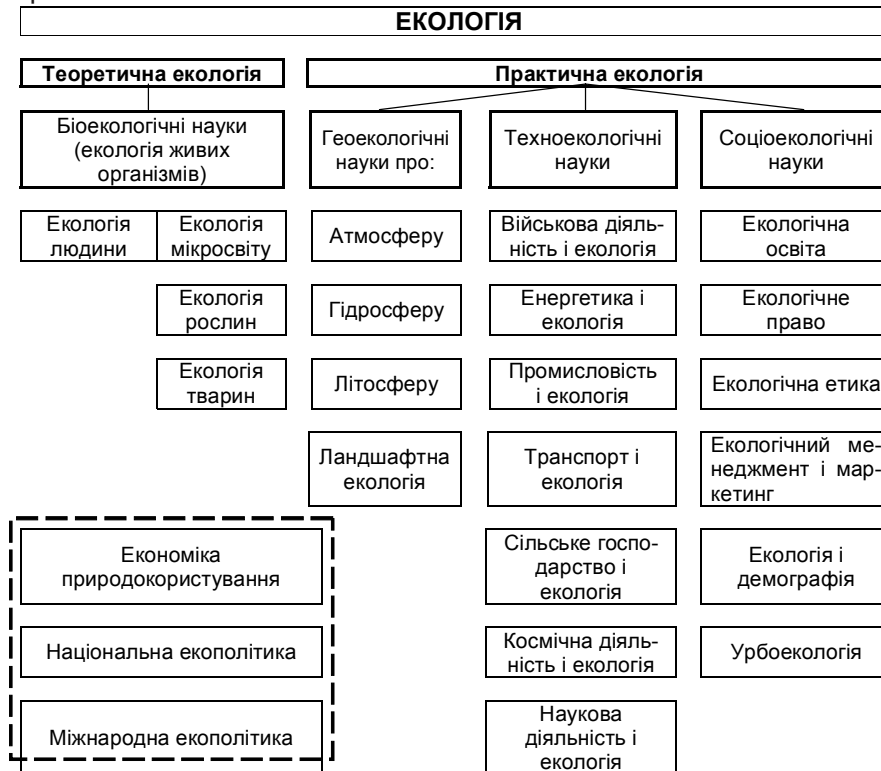
Поступово з накопиченням нових знань про взаємозв'язок між живими та неживими компонентами природного середовища цей розділ біології перетворився в самостійну фундаментальну науку.

Екологія як наука почала інтенсивно розвиватися, починаючи з 20-х років ХХ століття. Значний внесок у цей процес було привнесено Володимиром Івановичем Вернадським – видатним вченим у галузі природничих наук, який, до речі, був першим президентом АН УРСР з 1919 до 1921 р. У 1925 р. вийшла в світ його наукова праця «Біосфера», в якій вперше подано системне вчення про біосферу. В ній відзначалося, що “людина, створивши в соціальному середовищі наукову думку, створює в біосфері нову геологічну силу, якої не було в ній”. Ця сила настільки інтенсивно змінює умови існування, що людина має зрозуміти, що “вона житель планети і повинна думати і діяти в новому аспекті, не тільки в аспекті окремої особисті, сім’ї чи роду, держав чи союзів, а і в планетарному аспекті”, тобто екологічна проблема стала однією з основних проблем світового суспільства. Ця робота знову звернула увагу науковців до проблем взаємодії живих організмів з неживою природою і змінила погляд на екологію як на суто природничу науку.

Таким чином у сучасному контексті аеі еі аї – наука, що комплексно вивчає середовище нашого існування, його живі і неживі компоненти, взаємини і взаємодію між цими компонентами: людиною, рослинами і тваринним світом, літосферою, гідросферою та атмосферою з обов’язковим урахуванням впливу діяльності людини, а також займається розробленням шляхів регулювання і гармонізації взаємин людського суспільства з природою.

Виникнувши як один з розділів біології, зараз екологія – це нова, комплексна наука про довкілля, що характеризується як галузь, яка розвивається на межі багатьох природничих і суспільних наук.

Структура сучасної комплексної науки про довкілля екології приблизно така:



*Èi ì ï èâèñí à í àóèà ï òí äí âêëëÿ, âèî èî âÿ* – це наука про тактику й стратегію збереження та стабільного розвитку життя на Землі. Вона має узагальнювати всю екологічну інформацію, що надходить із різних підрозділів і на підставі аналізу і моделювання сприяти тому, щоб приймалися науково і логічно обґрунтовані рішення щодо розвитку цивілізації з метою збереження здатності біосфери до самовідновлення.

Завданням науки екології є:

1. Визначення з позиції системного підходу загального стану сучасної біосфери планети, причини його формування та особливості розвитку під впливом природних та антропогенних факторів.
2. Прогноз динаміки стану біосфери у часі і просторі.
3. Розроблення шляхів гармонізації взаємовідносин людського суспільства і природи, збереження здатності біосфери до самовідновлення та саморегулювання.

Основними є два напрями, за якими здійснюють дослідження. Це – теоретична і практична екологія.

**Öâĭ ðâðò è÷ĭ à âêĭ êĭ ãžŸ** – найбільш розвинений, “найстарший за віком” розділ екології. Саме ця наука виникла як один із розділів біології, що вивчала взаємодію живих організмів між собою, закономірність їх життєдіяльності в природному середовищі існування.

Розділені і окремо вивчають проблеми впливу середовища на мікроорганізми, рослини і тварин.

**Екологія людини** вивчає проблеми впливу на людину і її здоров’я стану довкілля. Людині як живому організму, як біологічному виду притаманний обмін речовин із навколишнім середовищем, який є основною умовою існування будь-якої живої істоти. Проте винесено її окремо через те, що, окрім законів природи, які впливають на розвиток людської спільноти, важливим чинником є закони розвитку суспільства.

**Ī ðâêò è÷ĭ à âêĭ êĭ ãžŸ** – розділ екології, який розвивається у трьох основних напрямках: геоекологічні науки, техноекологічні науки, соціоекологічні науки, які спрямовані на розвиток наукових положень про охорону та раціональне використання природних ресурсів.

**Геоекологічні науки** вивчають зміни, які відбуваються чи відбувалися колись в атмосфері, гідросфері чи літосфері. Вивчають їх склад, вплив на їх стан природних явищ, наслідки людської діяльності.

Так, завдяки вивченню складу атмосфери за повітряними бульбашками, які знаходили у вічній мерзлоті, встановлено, як змінювався вміст деяких шкідливих речовин залежно за роками (табл. 1.1), прослідковано, які зміни відбулися у атмосфері за час існування життя на планеті та яким чином змінює склад атмосферного повітря виробнича діяльність людської спільноти. Зокрема, встановлено, що до 1990 р. не існувало і не накопичувалось в атмосферному повітрі хлорфторвуглеводневих сполук (фреонів). Це синтезовані сполуки, які входять до складу “парникових газів”.

Таблиця 1.1

**Зміна вмісту у атмосфері деяких шкідливих речовин**

Газ	Роки			
	1750	1850	1950	1990
$CO_2$ , млн <sup>-1</sup>	280	290	310	350
$CH_4$ , млн <sup>-1</sup>	0,8	0,9	1,2	1,7
$N_2O$ , млн <sup>-1</sup>	0,285	0,29	0,295	0,31
ХФВ*, млрд <sup>-1</sup>	0	0	0	0,4

ХФВ\* – хлорофторвуглеводневі сполуки

Дослідження, що проводять у цьому напрямку, мають важливе значення. Вони забезпечують сучасну екологію важливою для здійснення екологічного прогнозу ретропрогносною базою.

Техноекологічні науки поділяють на різні галузі промислової діяльності людського суспільства. Спрямовано дослідження на визначення техногенних факторів забруднення довкілля цими галузями. З'ясовують причини утворення і шляхи усунення негативних чинників, які виникають внаслідок багатогранної діяльності людської спільноти. В цьому посібнику основна увага буде приділена такій її галузі як транспорт.

Вивчати вплив транспорту на довкілля треба з позицій системного підходу, тобто треба визначити характер і масштаби впливу транспорту на довкілля (встановити основні забруднювачі і джерела забруднення); визначити напрями зменшення техногенного тиску на довкілля усіма об'єктами транспортної системи та розробити шляхи їх реалізації.

Дуже важливим є останній розділ, який виник нещодавно. Соціоекологічні науки – це науки про взаємини суспільства і природи.

Значення цього підрозділу важко переоцінити, тому розглянемо його дещо детальніше. Основна спрямованість – вирішення проблеми перебудови людської моралі і свідомості, переоцінки критеріїв буття. Тому що врятувати довкілля можна лише докорінно змінивши свідомість усіх людей як на професійному, так і на побутовому рівні.

Складовими цього підрозділу є:

*Екологічна освіта.* Звісно, має відбуватися покращення екологічної культури суспільства і професійної підготовки спеціалістів завдяки комплексній освіті та вихованню в галузі охорони довкілля. За час існування науки екології накопичена велика кількість знань, оволодіння якими допоможе фахівцям різних галузей, зокрема транспорту, приймати зважені рішення, притаманні їх спеціальності, але з урахуванням впливу, який вони можуть чинити на середовище, в якому ми живемо.

*Екологічне право* має розвиватися як дійовий засіб досягнення збалансованості подальшого розвитку цивілізації і гармонізації взаємовідносин людства і природи. Воно має вирішувати проблеми оздоровлення та облагородження довкілля з метою покращити здоров'я, умови праці та побутові умови життя людей.

Історія розвитку правових застав щодо охорони довкілля сягає у часи Київської Русі з послідовним змінюванням з урахуванням рівня розвитку суспільства.

Основним джерелом екологічного права України є її Конституція. Вона має вищу юридичну силу і закріплює основи екологічного права.

Джерелами екологічного права є Закони України, що зрегулюють екологічні взаємини суспільства і природи. До таких треба віднести:

- Закон “Про охорону природи України” від 30 червня 1960 р.
- Закон “Про охорону навколишнього природного середовища” від 25 червня 1991 р.
- Закон “Про охорону атмосферного повітря” від 16 жовтня 1992 р.
- Закон “Про дорожній рух” від 30 червня 1993 р.
- Закон “Про транспорт” від 10 листопада 1994 р.
- Закон “Про метрологію і метрологічну діяльність” від 4 березня 1998 р.

Закон “Про відходи” від 10 липня 1998 р.

*Екологічна етика.* Йдеться про те, що не все може зрегламентувати законами і нормативними заборонами. Необхідно напрацювати моральні засади, спрямовані на те, що вчинки і з боку держави, і з боку особи, які завдають шкоди природі, є аморальними.

Наприклад:

– ходити по газонах не можна не тому, що просто не можна. Тому, що, окрім естетичного навантаження, що несуть на собі ці осередки природи у місті, вони осаджують пил, не даючи йому здійматися угору під поривами вітру, і тим самим зменшують його кількість у повітрі, яким дихають люди;

– не можна, якщо державою прийнято рішення про зменшення споживання етилованого бензину в країні, самочинно додавати до бензину отруйний тетраетилсвинець і т. ін.

*Екологічний менеджмент і маркетинг* – визначають необхідність екологічно чистої продукції, закупають нові технології і екологічно чисті компоненти, здійснюють організацію продажу продукції і збування відходів у такий спосіб, щоб не завдавати шкоди довкіллю.

Проблеми народонаселення і забезпечення продовольством вирішують *екологія і демографія*.

*Урбоекологія* визначає шляхи поліпшення екологічного стану сучасних міст. Сюди входить, і не останнім пунктом, вирішення проблеми забруднення атмосфери міст автотранспортом.

Останнього часу вчені виявили нове явище, що отримало назву “смуток нових міст” – це підвищена психологічна захворюваність жителів нових міських районів, де умови життя, здавалось би, кращі, більш комфортні. Але багатопверховість будинків, їх одноманітність

і непривабливість, відокремленість людей, їх віддаленість від природи спричиняють негативний стан: пригніченість, дратівливість, агресивність.

Спостереження за зміною стану природного середовища, яке відбувається за природних причин, тривають вже досить давно. Суттєві зміни біосфери відбуваються впродовж тривалого часу. На відміну від них зміни під впливом діяльності людини можуть відбуватися досить швидко. Для відслідковування і контролю за ними організовано спеціальні спостереження.

*Екологічний моніторинг* – це система спостережень, що надає можливість виділити зміни стану біосфери під впливом діяльності людини.

На підставі результатів, отриманих наукою екологією за усіма вищеназваними розділами і підрозділами, формують *економіку природокористування та національну й міжнародну політики* стосовно охорони довкілля.

*Економіка природокористування* – розділ економіки, який вивчає питання економічної оцінки природних ресурсів і також оцінки збитків, заподіяних забрудненням середовища. Висвітлюють дві групи пов'язаних між собою проблем:

1. Як найбільш економічно ефективно використовувати необхідні у виробництві і споживанні ресурси (на сьогодні лише 2% добутої породи промисловість переробляє в корисну продукцію, решта 98% – іде у відходи).

2. Які мають бути економічно доцільні методи зменшення чи усунення забруднення довкілля.

*Національна (або державна) екополітика* – соціально-економічна політика, яка ґрунтується на розумінні вигадів і недоліків, що пов'язані з екологічним станом країни, враховує перспективи розвитку господарства держави і зміну чисельності населення, а також наявність в її межах природних ресурсів.

*Міжнародна екополітика* передбачає проведення міжнародних правових, політичних і зовнішньоекономічних акцій з урахуванням екологічних обмежень у соціально-економічному розвитку, запасів природних ресурсів, які є у світі, і їх розподіл між країнами.

В міжнародній політиці законодавчими органами є міжнародні форуми; виконавчий орган – ЮНЕП (від англ. UNEP – United Nations Environment Programmer) – програма ООН з питань навколишнього середовища, яка створена у 1972 р. До Ради керуючих з 1981 р. входить Україна.

Об'єктами міжнародного співробітництва, стосовно яких різні країни вступають у екологічні відносини, є: повітряний басейн, космос, світовий океан.

До початку 90-х років на міжнародному рівні було підписано близько 150 міжнародних договорів і угод, до деяких з них приєдналася Україна як член ООН. Уже введено заборону на випробування ядерної зброї у різних середовищах, заборонено розвиток, виробництво та накопичення запасів бактеріологічної та токсичної зброї, прийняте положення про охорону озонового шару, положення про речовини, що руйнують озоновий шар, про обмеження викидів вуглекислого газу, сполук сірки і азоту, про збереження біологічного різноманіття, про зміни клімату і т. ін.

Раціональне використання природних багатств – дуже нелегка справа, тому що вона тісно пов'язана з економікою суспільства, і жоден, навіть самий палкий прихильник чистоти довкілля, не відмовиться від тих благ, які дає йому технічний прогрес. Проте в бажанні мати всього більше і більше треба навчитися бачити негативну сторону – задоволення багатьох потреб людства в повній мірі може стати згубним для навколишнього середовища.

## 1.2. Основи вчення про біосферу

За великих розмірів земної кулі реальне життя існує лише в його частині, що називають біосферою.

І хоча системні екологічні дослідження розпочалися лише на початку ХХ століття, термін “біосфера” ( $\beta\acute{\iota}\omicron\varsigma$  – життя,  $\sigma\phi\eta\acute{\iota}\rho\alpha$  – куля) був введений значно раніше. Спочатку французький вчений Ж.Б. Ламарк так називав сукупність живих організмів, які мешкають на земній кулі. Термін, що більш широко пояснював біосферу як особливий шар земної кори, охоплений життям, з'явився в науковій літературі у 1875 р. Його автором був Едуард Зюсс – австрійський геолог.

Фундатором сучасного вчення про біосферу є видатний дослідник природи, академік В.І.Вернадський. Ним уперше було зроблено загальну схему еволюції живої оболонки нашої поверхні, сформульовано поняття *біосфери* таким чином, щоб сформулювати світогляд сучасної людини з розумінням його місця в природі і відповідальності за майбутній стан біосфери.

В.І. Вернадський визначав, що *біосфера* – це “поверхневий прошарок Землі, населений живими організмами і змінений їх діяльністю. Людина виникла і розвивалась у процесі еволюції життя і біосфери Землі. Вона – породження її і залежить від її стану”.

*Біосфера* – це оболонка життя, де зустрічаються і взаємодіють повітря, вода та земля і яку заселяють або заселяли колись живі організми. В ній відбуваються різні види біологічних перетворень та технологічних процесів економічної діяльності суспільства.



Біосфера за своїм складом дуже різноманітна – від найпростіших бактерій, які не можна побачити простим оком, до людини. За Вернадським межі біосфери визначає наявність “живої речовини”. “Жива речовина” – це біомаса рослин, біомаса тваринного світу і біомаса бактерій.

Вчений виділив три головних компоненти біосфери: живі організми; мінеральні речовини, які включені живою природою у біогенний кругообіг, продукти життєдіяльності “живої речовини”, які тимчасово не приймають участь у біогенному кругообігу.

Жива речовина трансформує сонячну енергію і залучає неорганічну матерію у безперервний кругообіг. Особливість життя полягає не лише у прискоренні хімічних реакцій – деякі реакції поза організмів взагалі не відбуваються за нормальних температур і тисків. Так жири і вуглеводні окислюються в організмі за температури 37 °С, а поза нього для їх окислення потребується нагрівання 450...500 °С. Причина цього – ферменти, що є в живих організмах.

Біосфера включає живі організми і їх рештки, нижню частину атмосфери, усю гідросферу і верхню частину літосфери Землі. За Вернадським “межі біосфери обумовлені, передусім, полем існування життя”. За участю “живої речовини” сформовано склад атмосфери, гідросфери, ґрунтів і у значній мірі осадових порід нашої планети.

Межі біосфери обумовлені полем можливого існування життя, яке може виявлятися лише у певних енергетичних, фізичних і хімічних умовах такі:

Гідросфера (υδωρ – вода) – сукупність усіх вод земної кулі – океанів, морів, річок, озер, боліт разом із підземними водами і гірськими та полярними льодовиками, ґрунтовою та атмосферною вологою. Води вкривають 71% поверхні планети. Всі вони заселені живими організмами. Нижня межа існування біосфери – дно океану (11,022 км – глибина Маріїнського жолобу в Тихому океані). Вода – дуже важлива мінеральна речовина, в ній зародилося життя, через неї здійснюється зв'язок процесів у екосистемах (обмін речовин, перенесення теплоти, збільшення біомаси), вона є складовою частиною усіх живих організмів.

Атмосфера (ατμός – пара) – нижній шар газоподібної оболонки Землі, що складається із суміші різних газів, водяної пари і пилу і обертається разом із Землею. Сучасна атмосфера, в значній мірі, – продукт живої речовини біосфери. Основні гази, що входять до складу атмосферного повітря – азот (78,09%), кисень (20,93%), аргон (0,93%), вуглекислий газ (0,03%), а також водень, гелій і т. і.

Активне існування життя в атмосфері обмежується висотою близько 6 км над рівнем моря – до цієї висоти мають місце додатні



температури. Вище до 15–20 км мікроорганізми зберігають життя у вигляді спор. Межею існування живого є озоновий прошарок, після нього все живе знищує ультрафіолетове випромінювання Сонця. Атмосфера захищає усі живі організми від згубного впливу космічного випромінювання і ударів метеоритів, регулює сезонні температури, вирівнює добові.

*Літосфера* (λίθος – камінь) зовнішня тверда оболонка Земної кулі, нижня межа її нечітка і у різних місцях становить від 5 до 200 км. Життя поширене не по усій товщі літосфери. Існування життя в літосфері обмежується ізотермою, тобто кривою постійної температури, що становить 100 °С. Наприклад, на Кольському півострові це 6 км, а загалом 3–4 км.

Літосфера є вмістилищем усіх мінеральних ресурсів, основним об'єктом людської діяльності. Верхню частину континентальної земної кори становлять ґрунти. Ґрунти – органічно-мінеральний продукт спільної діяльності живих організмів, води, повітря, сонячного тепла та світла.

На поверхні Землі в наш час повністю відсутнє життя лише в зонах значних зледенінь та у кратерах діючих вулканів. Проте вважається, що межі життя біосфери можуть розширюватися. Зокрема, людина може сягати за допомогою техніки зон недосяжних для решти живого світу.

### 1.2.1. Організм та середовище

Дослідження окремих організмів їх індивідуальних зв'язків з середовищем є предметом *аутекології*.

Важливі для організму компоненти навколишнього середовища, які впливають на нього, називаються екологічними факторами. Це окремі елементи чи властивості природного середовища, які впливають на існування і розвиток організмів і на які живі істоти реагують реакціями пристосування. Різні організми по-різному реагують на одні і ті самі фактори. За межами здатності пристосування настає смерть.

Складні взаємини живих організмів і навколишнього середовища характеризують екологічні фактори, які мають різну природу і специфіку впливу. Вони можуть бути необхідними чи, навпаки, шкідливими для живих істот, сприяти чи перешкоджати виживанню і розмноженню.

Приблизна кваліфікація екологічних факторів (факторів середовища) така: *за часом* (еволюційний, історичний, існуючий); *за періодичністю* (періодичний, неперіодичний); *за черговістю ви-*

никнення (первинний, вторинний); за походженням (космічний, абіотичний або абіогенний), біотичний або біогенний, біологічний, природно-антропогенний, антропогенний або антропічний); за середовищем виникнення (атмосферний, водний, геоморфологічний, едафічний, фізіологічний, генетичний, популяційний, екосистемний, біосферний); за характером (інформаційний матеріально-енергетичний, фізичний: геофізичний та термодинамічний, хімічний: солоність та кислотність, біогенний, комплексний); за об'єктом впливу (індивідуальний, груповий); за умовами впливу (ті, що залежать від щільності і ті, що не залежать від щільності); за ступенем впливу (летальний, екстремальний, лімітуючий, тривожний, мутагенний, тератогенний).

Для спеціалістів технічних наук розглядають основні групи: *абіотичні* і *біотичні* фактори і третю групу, найбільш впливових, значення яких постійно зростає – це *антропічні* та *антропогенні* фактори.

Абіотичні фактори – чинники неорганічного середовища, які поділяють на:

‰ фізичні фактори:

- кліматичні: сонячна енергія, температура, вологість, рух повітря, тиск;
- ґрунтові: фізико-механічні властивості і мікробіологія ґрунтів;
- топографічні: географічні широта і довжина, висота над рівнем моря, рельєф;

‰ хімічні фактори:

- хімічні компоненти середовища, включаючи газовий склад атмосфери, соляний склад води, кислотність води в ґрунтах.

Найважливішим кліматичним чинником є температурний. Від нього залежить інтенсивність обміну речовин організмів і їх географічне поширення. Визначальним є і променева енергія Сонця – основного джерела життя на планеті. Значення світла як екологічного фактора полягає у здатності фотосинтезу зелених рослин, тобто створення органічних речовин.

Ґрунтові фактори визначають життєдіяльність організмів, що живуть у ґрунті постійно чи частково. Дуже значну роль як екологічний фактор має вода – середовище існування різноманітних живих організмів. Вміст води в рослинах коливається від 40 до 98%, у тілах тварин – від 35 до 83%. Унікальність води полягає у тому, що в межах температур, в яких існує життя, лише одна речовина може перебувати у трьох станах: пароподібному (волога), рідкому (туман, дощ), твердому (сніг, лід, град) і це має велике значення в житті рослин і тварин.

Завдяки сукупності абіотичних факторів на планеті утворилися кліматичні зони, в яких існують певний рослинний і тваринний світ.

Біотичні фактори – вся сума взаємного впливу живих істот різних видів. Це не змінені організмами абіотичні умови і не самі організми, а саме взаємовідношення між організмами, прямий вплив одних на інші. Форми біотичних відносин: конкуренція, хижацтво, паразитизм, симбіоз.

Так, прикладом біотичних факторів є взаємодія рослинного і тваринного світів в процесі фотосинтезу: рослини продукують кисень, який необхідний для дихання тварин і людей, а результатом дихання живих істот є вуглекислий газ, який рослини і використовують для фотосинтезу. Також прикладом біотичних факторів є вплив вірусів, найпростіших бактерій на живі організми і людину.

Антропоічні фактори – ті, що виникають у результаті безпосереднього впливу людини на будь-що. Наприклад, мисливство, вирубування лісів, вирощування, на свій розсуд, рослин і тварин, займаючись селекцією, чи знищування цілеспрямовано певних рослин чи тварин.

Антропогенні фактори – це фактори, зумовлені діяльністю людини, які опосередковано впливають на органічний світ через зміну першої і другої груп факторів: змінити хімічний склад води у водоймах, виснажити чи, навпаки, збагатити ґрунт, забруднити повітря, збудувати дорогу, розлити нафту. Вони є результатом діяльності людини планованої чи випадкової, сьогоденної чи минулої.

Ці фактори, що зумовлені діяльністю суспільства та приводять до зміни організмів чи середовища існування організмів, відіграють дедалі все більшу роль у взаємовідносинах людина-біосфера. Своїм фізичним існуванням люди впливають на довкілля: виділяючи у атмосферу значну кількість вуглекислого газу в процесі дихання, споживаючи з їжею енергію, накопичену іншими живими організмами. Проте у значній мірі на біосферу впливає виробнича діяльність людей, внаслідок якої змінюються рельєфи і склад земної поверхні, хімічний склад атмосфери, клімат, відбувається перерозподіл прісної води, зникнення природних екосистем і створення штучних екосистем, вирощують культурні рослини, одомашнюють тварин і т. ін.

За позитивних змін, які внесені людиною, виникають сприятливі умови щодо розвитку тих чи інших організмів, внаслідок чого зростає їх чисельність. За негативних – організми пригнічуються і навіть вимирають.

Людина – сама цінна і легко уразлива істота, але і найбільш небезпечна для себе і середовища, в якому мешкає на Землі.

Найочевиднішим проявом антропогенного впливу на біосферу є забруднення довкілля.

Усі фактори забруднення навколишнього середовища чинять *сумісний* вплив – підсилюють чи послаблюють вплив одного фактора за наявності іншого чи інших, тобто комплексна дія декількох факторів інша, ніж вплив кожного фактора окремо.

Такий сумісний вплив можна проілюструвати на прикладі смогів: лондонського та лос-анжелоського, що отримали свої назви від назв міст, де вони були вперше помічені. Забруднення атмосферного повітря привнесені в довкілля внаслідок діяльності людини (антропогенні фактори), підсилювалися погодними умовами (абіотичні фактори) і призвели до наслідків, згубних для усього живого і безпосередньо людини.

У Лондоні причина утворення смогу (так званого “чорного” чи вологого) – суміш диму і туману. Велика концентрація шкідливих речовин (сажа і оксиди сірки та азоту), які виникають у результаті спалювання вугілля і мазуту, висока вологість і низька температура, які стають на заваді розсіювання цих шкідливих речовин, сприяють тому, що шкідливі речовини, сполучаючись з вологою, утворюють кислоти, які стали причиною отруєння багатьох людей. Так, у грудні 1952 року за три–чотири дні загинуло близько 4 тис. чоловік. В той час над усією Англією виникла зона високого тиску, і протягом декількох днів погода була невітряною. Проте трагедія відбулася саме в Лондоні, де був високий рівень забруднення. В такому типі смогу (“чорному”) практично не утворюється нових речовин. Його токсичність цілком визначають первинні забруднювачі.

Лондонські газети того часу писали: “Якщо ми не зробимо так, щоб було менше смогу, він зробить так, що буде менше людей”.

Зовсім інша природа смогу, що з’явився, ще перед Другою світовою війною у місті Лос-Анжелосі – так званий “білий” фотохімічний смог. Спричиняють його, перш за все, шкідливі викиди, що містяться у відпрацьованих газах автомобілів. Через погану провітрюваність місцевості відбувається загазованість міста, і під дією сонячного проміння з них утворюються нові отруйні сполуки – вторинні забруднювачі.

Двооксид азоту, який надходить у атмосферу після згорання палива в циліндрі двигуна, під впливом сонячних променів розпадається на оксид азоту і атомарний кисень, який сполучається з азотом повітря, утворюючи знову двооксид азоту і озон.

Озон вступає у взаємодію з ненасиченими вуглеводнями і утворює високоактивні недоокиснені речовини – *оксиданти*, які подразнюють очі, шкідливо впливають на слизові оболонки людини,

зашкоджують рослинам. Сам озон, теж речовина високотоксична, особливо погано впливає на хворих на астму та серце.

Таким чином, шкідливі речовини, що викидалися у атмосферу в результаті діяльності людини, під дією атмосферних умов спричинили отруєння. Знаючи причини, можна впроваджувати заходи, щоб запобігти цьому. Останнім часом у розвинених країнах завдяки існуванню систем регулювання кількості автомобілів на дорогах і роботи промислових підприємств залежно від погодних умов рівень загазованості міст щорічно зменшують на 4–5%.

Екологія встановлює закони, що визначають залежність живих істот від факторів, які обмежують їх розвиток.

За законом оптимальності з найбільшою ефективністю будь-яка система функціонує в деяких просторово-часових межах, тобто розмір будь-якої системи має відповідати її функціям. Ніякий цілісний організм не в змозі перевищити критичні розміри, що забезпечують підтримання його енергетики (у тварин вони залежать від достатньої кількості їжі, у рослин визначаються швидкістю засвоєння і передачі живильних речовин). Тому в природокористуванні для досягнення високої врожайності рекомендують засівати поля різними культурами або в різний час.

Закон толерантності (закон Шелфорда) стверджує, що обмежувачим фактором процвітання організму (виду) може бути як мінімум, так і максимум екологічного впливу, діапазон між якими визначає величину витривалості (толерантності) організму до даного фактору. Так, надмір води, навіть в посушливих регіонах може бути шкідливим і розглядатися як забруднювач.

Поняття екологічної ніші визначає її як сукупність територіальних і функціональних характеристик умов існування виду в природі. Тобто діапазон умов, в яких популяція живе і відтворює себе. Екологічна ніша виду залежить не лише від абіотичних, а, в значній мірі, і від біотичних факторів.

### 1.2.2. Популяції

Взаємодію особин одного виду з середовищем існування вивчає *демоекологія*.

Першою надорганізмовою біологічною системою є популяція. *Популяція* – це група особин одного виду, а інколи навіть однорідної сукупності особин різних видів, поєднаних спільними умовами існування, які впродовж великої кількості поколінь населяють певний простір, пов'язані між собою тісними родинними зв'язками і більш схожі між собою, ніж з представниками інших подібних угруповань.

Популяцію характеризує низка ознак, носіями яких є група, а не окрема особина. Найбільш істотними ознаками популяцій є динаміка чисельності особин, співвідношення статей, віковий склад, територіальна структура і щільність заселення.

Популяціям властива певна організація. Розподіл по території (просторова), співвідношення груп за статтю, віком, генетичними та поведінковими (ієрархічна) особливостями відображають *структуру* популяції.

Популяція завжди підпадає під вплив багатьох факторів, і реакція на конкретний фактор залежить від взаємного розташування або спільної їх дії. Повінь, пожежа, град, морози, застосування хімічних препаратів, реконструкція ландшафтів, поява нових видів хижаків, паразитів, епідемії – все це може призвести до повної загибелі або різкого скорочення чисельності популяції. Окрім того, може спричинити коливання чисельності інших видів.

Структура популяції має пристосувальний характер. Окрім адаптивних можливостей окремих особин, популяцію характеризує ще і пристосувальні риси групової організації, які є властивостями популяції як індивідуальної системи. Адаптивні можливості виду в цілому як системи популяції значно ширші пристосувальних особливостей кожної конкретної особини.

Структура популяції нестабільна, і залежно від того, яка вона в даний період часу, залежить напрям її подальших змін.

### 1.2.3. Угрупування та екосистеми

Вивчення взаємовідносин груп організмів різних видів (популяцій, спільнот і екосистем) із середовищем їх існування здійснює *синекологія*.

Характерною особливістю існування біосфери є мозаїчність її будови. Життя, організоване в масштабі планети, функціонує в межах окремих частин біосфери. Біологічні системи – це біотичні компоненти різних рівнів організації (від генів до спільнот), які впорядковано взаємодіють з оточуючим середовищем, тобто абіотичними компонентами (енергією, речовиною), складаючи з нею єдине ціле.

Основною функціональною одиницею біосфери є екологічна система (екосистема). Поняття екосистеми було введено в наукову літературу англійським ботаніком А. Тенслі у 1935 р. І хоча іншими дослідниками, що теж дотримувалися принципу системного підходу, застосовувалися й інші терміни, та в кінці XX ст., коли було розроблено загальну теорію систем, затвердився термін “екосистема”.

*Екологічна система* – єдиний природний комплекс, утворений за довгий період живими організмами і середовищем, в якому вони існують, де всі компоненти тісно пов'язані обміном речовин, мають зовнішній і внутрішній кругообіг речовин і однонаправлений потік енергії та які мають здатність врегульовувати всі ці процеси.

Це сукупність різних видів рослин, тварин і мікробів, які взаємодіють між собою і з навколишнім середовищем таким чином, що вся ця спільнота буде існувати невизначено довгий час. В кожній екосистемі є два основних компоненти: організми, з одного боку, і фактори навколишнього природного середовища неживої природи – з іншого. Порушення функцій одного з компонентів викличе порушення рівноваги усєї екосистеми.

За своїми масштабами екосистеми розрізняються:

1. Глобальна екосистема – біосфера або екосфера нашої планети в цілому. Це сума екосистем, яка включає усі живі організми, мінеральні речовини, які приймають участь у біогенному кругообігу і продукти діяльності живої речовини, які тимчасово виключені з кругообігу.

Нашу планету не можна назвати закритою, така система передбачає повну ізоляцію від оточуючого середовища. Але Земля має обмежений простір і обмежені запаси енергії. Їй притаманна розімкненість – часткова реутилізація речовин в середині системи. Речовини, які виходять з системи, виводяться в найближчі екосистеми вищого рівня або безстроково відкладаються для зберігання (депонуються). Для глобальної системи притаманне лише депонування. Наприклад, речовина біосфери у вигляді мінеральних палив депонована в літосфері як частина екосфери планети. Такі поклади не засмічують біосферу і не чинять шкідливого впливу на процеси біологічного кругообігу речовин. Пізніше вони знову вступають у цей кругообіг.

У збалансованій екосистемі не повинні накопичуватися продукти розпаду – вони мають перероблятися. Тобто має підтримуватися екологічна рівновага – баланс природних компонентів, що утворюють середовище, та природних процесів, який забезпечує підтримку екосистеми в якісно визначеному стані, характерному для даної географічної місцевості та геологічного періоду. Основний принцип функціонування екосистеми – отримання ресурсів і збування відходів має відбуватися в межах кругообігу усіх елементів екосистеми.

2. Екосистеми (біогеоценоз), які виділяють у складі біосфери як екосистеми макрорівня. Визначають їх за абіотичними факторами середовища – простором (біотопом), що зайнятий спільнотою



взаємопов'язаних організмів (біоценоз), які є продуктом природного відбору, що визначають біотичний компонент.

На земній кулі розрізняють такі основні екосистеми: моря, гирла річок і морські узбережжя, річки і ріки, озера і ставки, болота, пустелі, тундра, степи і ліси.

Під впливом природних чи антропогенних факторів з часом може виникати послідовна зміна (сукцесія) живих організмів, що виникає на одній і тій самій території. Наприклад, поступове заростання місця, де відбулася пожежа, відбувається у визначеній послідовності, і втручання не завжди приводить до прискорення процесу. Внаслідок сукцесії формується спільнота, яка може перебувати у рівновазі із зміненим середовищем.

На рівні цих екосистем відбуваються усі процеси кругообігу речовин і потоку енергії в біосфері.

3. Як складові до екосистем макrorівня входять мезоекосистеми, заселені порівняно невеликою кількістю видів живих організмів. Наприклад, ділянка лісу, озеро, водосховище.

4. Ще один рівень – мікроекосистеми – сукупність особин одного виду, що займають обмежений простір (наприклад, стовбур гнилого дерева).

5. Останній рівень – це організм і місце, де він мешкає.

Природні екосистеми існують тривалий час і перебувають у рівновазі з кліматичними і біохімічними умовами та живими організмами, що їх оточують.

У живій природі процеси утилізації відходів існують, і вони чітко збалансовані. Існують так звані “ланцюги живлення”, які забезпечують перехід від складних біологічних форм до простих елементів, які знову вступають у процес утворення біомаси.

Взаємини людини і природи склалися дещо інакше – в результаті діяльності людини порушується баланс екосистеми Землі, природі все складніше витримувати “натиск” техніки.

Та раціонально використовувати природу – це не значить брати від неї менше, це значить використовувати без відходів усе узятє.

Зважаючи на це, мають розроблятися технології, які здатні переробляти відходи до стану, який не шкодить природі.

Вирішення проблеми захисту навколишнього середовища полягає у тому, щоб досягти сумірності темпів науково-технічного прогресу з можливостями біосфери переробляти відходи.

Перспектива полягає у тому, щоб досягти замкнутих циклів виробництва, коли відходи одного підприємства будуть сировиною для іншого.



За час існування людини відбулися значні зміни в середовищі, що оточує людину. Поступово утворилась нова біосфера, яка включає змінену людиною живу і неживу природу, освоєні людиною природні ресурси, досягнення технічного прогресу, в тому числі і природоохоронні об'єкти, і називають її *техносферою*. *Техносфера* – оточення, в якому існує людина і яке змінено внаслідок науково-технічного прогресу. Таким чином виникли нові умови взаємодії живої і неживої природи: взаємини людини і техносфери та взаємодія техносфери з біосферою.

Екосистему, яка виникла чи значно змінилась під впливом техногенних факторів (осушені болота, затоплені землі, вирубані ліси), називають техногенною екосистемою. В майбутньому це має бути практично замкнута регіонально-глобальна система утилізації і рециркуляції залучених у господарський обіг природних ресурсів, яка розрахована на ізоляцію господарчо-виробничих циклів від природного обміну речовин і потоку енергії.

Прикладом антропогенної екосистеми може бути місто. Міста отримують енергію, їжу, воду та інші речовини з великих площ, які знаходяться поза містом. У результаті функціонування міста утворюються тепло, пил (порох) та інші речовини, які забруднюють повітря і змінюють клімат міст. Управління містом, як екосистемою, має відбуватися з огляду нанесення найменшого збитку довкіллю міста і околиць.

Автономний космічний корабель, призначений для довготривалих експедицій, являє собою мініатюрну екосистему, яка включає і людину, і усі процеси в ній, по можливості, збалансовані.

Академіком В.І.Вернадським було свого часу введено та об'рунтовано нове наукове поняття, що характеризує таке явище. Зокрема, він писав: “Людство, взяте в цілому, стає могутньою геологічною силою. І перед ним, перед його думкою і працею постає питання про перебудову біосфери в інтересах вільно мислячого людства як єдиного цілого. Цей новий стан біосфери, до якого ми, не помічаючи цього, наближаємося, і є ноосфера”. Перехід в епоху ноосфери В.І. Вернадський розглядав як “приспосованість” людства. Всі живі організми пристосовуються, але людина включає в цей процес розум.

*“Ноосфера”* (νοοζ – розум) – сфера розуму, найвища стадія розвитку біосфери, пов'язана з виникненням і становленням у ній цивілізованого людства, з періодом, коли розумна людська діяльність стане головним, визначальним фактором розвитку на Землі.

Людський фактор стає визначальним у розвитку біосфери, а людська діяльність – в еволюції Землі. Тому, щоб забезпечити майбутнє, треба комплексно вирішувати проблеми економіки та збереження природного середовища.

Шлях до ноосфери пролягає через формування особистості, через усвідомлення усіма членами людської спільноти єдності природи і людства в енергетичному плані і розумінні кожним своєї особливої ролі в забезпеченні безпеки життя на планеті, в країні, в колективі, в сім'ї. Треба узгоджувати свої потреби з можливостями біосфери.

Якщо раніше вважалося, що людина мусить змінити природу, підкоривши її своїм потребам, то зараз головна мета людства в побудові ноосфери – збереження біосфери такою, у якій виникла і може існувати людина як вид, зберігаючи своє здоров'я, яке, за визначенням Всесвітньої організації здоров'я, є станом повного фізичного, психічного і соціального благополуччя, а не просто відсутність захворювань чи нездужання.

Зараз вчені говорять про те, що на якомусь етапі розвитку людство пішло шляхом найменшого опору – добування з надр того, що створювалось віками. А вірогідно, що створення ноосфери передбачає розвиток людства із синтезом необхідних речовин.

Новий погляд на ноосферу, проголошений у Декларації про навколишнє середовище і розвиток (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.), базують на принципах двох категорій сучасної і майбутньої людської діяльності – етичних і еколого-економічних.

*Етичні:*

– обмежені запаси природних ресурсів мають розподілятися між усіма живими істотами Землі;

– людина – частина природи, не має права силувати природу, а повинна дотримуватись її законів;

– не керувати природою, а гармонізувати своє співіснування.

*Еколого-економічні:*

– консервація, збереження ресурсів і енергії, розумне самообмеження;

– максимально можливе багаторазове використання матеріалів у виробництві;

– відновлення ресурсів;

– контроль за забрудненнями, планування нових технологій, уповільнення приросту населення.

Економіка перестала бути єдиною громадською метою. Мета людей – не вмерти багатими завчасно, а жити якомога довше, ко-

ристуючись благами природи і цивілізації. Нерозумно закликати відмовитись від досягнень цивілізації, але навчитись самообмеженню в розумних межах. Це є шлях до нового етапу еволюції людини, оскільки в основу пристосування буде покладено розум і душа людини.

### 1.3. Кругообіг речовин

Основою динамічної рівноваги й усталеності біосфери є кругообіг речовин і перетворення енергії.

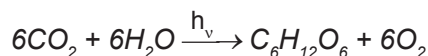
*Кругообіг речовин* – це багаторазова участь речовин у процесах, які відбуваються в атмосфері, гідросфері й літосфері, в тому числі і в тих прошарках, що входять у біосферу планети.

До появи на Землі життя в кругообігу брали участь лише абіотичні фактори. Такий кругообіг носить назву великого чи *геологічного*. З появою життя до абіотичних додалися біотичні фактори. Утворення живої речовини та її розкладання називаються *біологічним* (чи малим) *кругообігом* хімічних елементів.

Великий (геологічний) кругообіг речовин відбувається, в основному, між суходолом і морем, прояви його полягають у кругообігу води і циркуляції повітря. Полягає він у перенесенні мінеральних сполук з одного місця в інше в масштабі планети.

Малий (біологічний) кругообіг – це кругообіг органічних речовин. Наприклад, здійснюється між рослинами і ґрунтом, між мікроорганізмами і тваринами. В основі малого кругообігу речовин лежать процеси синтезу і руйнування органічних сполук.

Основний процес, результатом якого є утворення органічної речовини, є процес фотосинтезу, коли з вуглекислого газу і води під дією сонячної енергії утворюється органічна речовина і кисень.



Щороку в ході реакції фотосинтезу рослини засвоюють  $2 \cdot 10^{11}$  т вуглекислого газу і виділяють  $1,45 \cdot 10^{11}$  т вільного кисню. В результаті фотосинтезу утворюється  $1 \cdot 10^{11}$  т органічної речовини. Зараз запас вільного кисню оцінюють приблизно в  $1,6 \cdot 10^{15}$  т. Загальна енергія фотосинтезу  $104 \cdot 10^{12}$  Вт, що складає тільки 1 % усієї сонячної енергії.

Обидва кругообіги пов'язані між собою, утворюють загальний глобальний кругообіг, який перерозподіляє енергію, що надходить від Сонця.

Розрізняють енергетичний кругообіг, що ґрунтується на використанні сонячної енергії в процесі фотосинтезу й акумуляції її в гірських породах, водний кругообіг і газовий кругообіг.

У біосфері відбувається постійний кругообіг активних елементів, які переходять від організму до організму, у неживу природу і знову до організму. Дослідженнями встановлено, що організми складаються з тих же хімічних елементів, що і повітря, вода, мінерали гірських порід і ґрунтів. З усіх існуючих у природі елементів (більше ста) в організмах знайдено 20. Найважливіші з них – вуглець, водень, кисень, азот, фосфор і сірка.

В.І. Вернадським вперше було доведено існування кругообігу основних хімічних елементів у природі, який відбувається завдяки безпосередній участі “живої речовини”. “Міграція хімічних елементів на земній поверхні та в біосфері в цілому здійснюється за безпосередньою участю живої речовини або відбувається в середовищі, геохімічні особливості якого ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  та ін.) зумовлені живою речовиною, як тією, що в наш час населяє біосферу, так і тією, яка функціонувала на Землі протягом усієї геологічної історії”.

Біологічний кругообіг – явище неперервного, циклічного, але нерівномірного у часі й просторі закономірного перерозподілу речовин, енергії та інформації, який супроводжують деякі втрати.

Основні етапи біологічного кругообігу здійснюються у такій послідовності:

1. Зелені рослини, використовуючи неорганічні елементи із ґрунту й атмосфери під впливом сонячної енергії, створюють органічні речовини і кисень. Ці рослини називають продуцентами (ті, що виробляють) – продукують органічну речовину з неорганічних сполук, переробляючи і накопичуючи таким чином сонячну енергію.

2. Тварини споживають органічні речовини, синтезовані зеленими рослинами, і у такий спосіб накопичують енергію. Називають їх консументами (ті, що накопичують). Елементи, які надходять у них, перетворюються в нові складові й повертаються у ґрунт й атмосферу. Наприклад, під час дихання тварини споживають кисень і видихають вуглекислий газ. Поділяють їх на рослиноїдних і хижаків (так звані консументи першого і другого роду і т. д.).

3. Бактерії, гриби і т. і. у процесі своєї життєдіяльності перетворюють органічні рештки рослин і тварин у мінеральні солі, вуглекислий газ, воду. Редуценти (ті, що руйнують), таким чином, завершують цикл.

У результаті діяльності живих організмів утворилися земна кора і ґрунт, сформувався певний хімічний склад підземних і поверхневих вод, підтримується баланс газів у атмосфері.

Кругообіг атомів у природі є розімкнутим, деяка їх кількість вилучається і надходить в осадові породи у вигляді вапняку, торфу, нафти й інших порід і мінералів. Це забезпечує поступальний розвиток земної кори і біосфери. Як вважав В.І. Вернадський, навіть гірські породи є “колишніми біосферами”, тобто ці породи теж колись пройшли цикл переробки живою матерією.

Щодо енергії, яку отримують продуценти, розсіюють і передають консументи, а потім редуценти, то назад до продуцентів надходить не більше 0,25 % кількості попередньо залученої енергій, тобто має місце однонаправлений потік енергії.

Кругообіг *води* відбувається за умовною схемою: випадання опадів, стікання у водойми, випаровування, перенесення пари в атмосфері, її конденсація і повторне випадання опадів. Таким чином відбувається так звана абіотична (або фізична) циркуляція води. З появою життя на Землі кругообіг води ускладнився додаванням біотичного (або біологічного) циклу, що пов'язаний із життєдіяльністю рослин і тварин.

Загальні запаси води на землі – приблизно 1386 млн км<sup>3</sup>. Солона вода становить 97,5 % об'єму маси води. Об'єм прісної води 2,5–2,7 %, або 35–37 млн км<sup>3</sup>. Більша частина прісних вод (68–70 %) зосереджена в льодовиках.

Антропогенний вплив на природу – забруднення, зміна клімату, рослинності, структури ґрунтів, створення водосховищ – значно змінює процес кругообігу води.

В підземних горизонтах знаходиться вода, яка накопичилася там у більш вологі попередні геологічні періоди. Стверджують, що інтенсивне споживання води призводить до того, що підземні горизонти не поповнюються повною мірою очищеною водою, іде підсмоктування солоних вод. Мова іде про вичерпність цих джерел – питна вода може стати непоновлювальним ресурсом.

Кругообіг *кисню* є планетарним процесом, який пов'язує атмосферу та гідросферу з землею корою. Головна ланка кругообігу – утворення вільного кисню під час процесу фотосинтезу.

Відбувається споживання кисню для здійснення дихання усіма живими організмами, для реакцій окислення органічних решток та неорганічних речовин (зокрема спалювання палива) та інших хімічних перетворень.

Кругообіг *вуглецю* – в основному, це процес вивільнення і пов'язання двооксиду вуглецю. Надходить він в атмосферу внаслідок дії вулканів, спалювання палив і дихання рослин та тварин. Низький вміст вуглекислого газу і висока концентрація кисню в атмосфері, що регулюють зелені рослини, є запорукою існування життя на пла-

неті і підтримується, в основному, постійним. Щоправда останнім часом баланс вуглецю і біосфері став додатним. Значно збільшують його антропогенні викиди, і відбувається це переважно через спалювання видобувних палив і знищення лісів.

Динаміка зростання вуглекислого газу в атмосфері: 1800 р. – 0,029 % (290 т), 1958 р. – 0,0315 %, 1980 р. – 0,0335 %. За прогнозами, із зростанням вмісту  $\text{CO}_2$  до 0,06 % можливе потепління клімату на 1,5–4,5 °С.

Значну роль у природі відіграє кругообіг азоту. Атмосферне повітря майже на 80 % складається з молекулярного азоту. Надходить азот у атмосферу в результаті процесу біохімічного відновлення оксидів азоту, з вулканічними газами та від промислових джерел і транспорту.

Засвоюватися живими організмами може лише фіксований азот, тому для кругообігу азоту необхідний молібден. Фіксувати азот можуть деякі види бактерій і бобові рослини. Необхідний рослинам азот надходить із ґрунту (нітрати) або повітря (аміак). Тварини, що поїдають ці рослини, використовують азот для синтезу білків.

Діяльність людини впливає на кругообіг азоту, але вміст  $\text{N}_2$  в атмосфері останнім часом не змінювався.

Такі елементи, як *сірка* і *фосфор*, пов'язані з літосферою, містяться у гірських породах як неорганічні сполуки. Їх циркуляція відбувається внаслідок ерозії і вивітрювання цих речовин. Далі вони надходять у ґрунт, змиваються дощами і в такий спосіб надходять до живих організмів. Через деякий час вони знов можуть вийти з кругообігу.

Біосфера може існувати тільки за умови нескінченного хімічного перетворення її живої речовини та кругообігу різноманітних хімічних елементів.

У процесі обміну з навколишнім середовищем живі організми в природних екосистемах не тільки не руйнують його, але, пристосовуючись, сприяють його стабілізації і навіть поліпшенню умов свого існування і розвитку.

Донедавна серед живих організмів тільки людина базувала свій світогляд не на пристосуванні до навколишнього середовища, а на підкоренні природи своїм потребам. На сьогодні йдеться про такий розвиток суспільства і його господарювання, за якого не буде порушуватися природна основа його розвитку. Потреби нинішнього покоління у ресурсах мають задовольнятися, не зачіпаючи інтереси прийдешніх поколінь.

## 1.4. Екологічні аспекти науково-технічного прогресу

Світова цивілізація досягла значних висот і в той же час опинилася на краю прірви. І в сучасному світі вийшли на перше місце екологічні проблеми.

*Науково-технічний прогрес* (НТП) – це цілісний, взаємообумовлений, поступальний розвиток людських знань, науки і техніки. Освіта, наука і техніка взаємно стимулюють темпи прискореного розвитку одне одного. Розвиток технічного прогресу може бути руйнівним для природи як основи існування людей і може викликати екологічну кризу.

*Екологічна криза* – це напружений стан взаємовідносин між людством і природою, який характеризується невідповідністю виробничих сил і відносин людства до ресурсів та екологічних можливостей біосфери.

*Криза* – це стан, з якого можливий вихід, у ньому людина виступає стороною, що діє активно і може спрямовувати свої сили на те, щоб не сталася катастрофа.

*Катастрофа* – це вже незворотне явище, і людина тут вимушено пасивна, постраждала сторона.

Але *прогрес* – це завжди гуманізм, користь, саме користь для людини, її здоров'я і благополуччя нащадків. Та, щоб так відбувалося, насправді людству треба визначитися і правильно оцінити свій вплив на природу.

На сьогодні, переважно, людська діяльність є руйнівною для природи, а деякі її види призводять до незворотних явищ. Ресурси планети вичерпуються. Катастрофічно швидко забруднюються повітря і вода. Перетворюються на пустелі родючі землі. Скорочуються площі лісів. Планета буквально завалена відходами і сміттям. Своєю діяльністю людина провокує природні катастрофи.

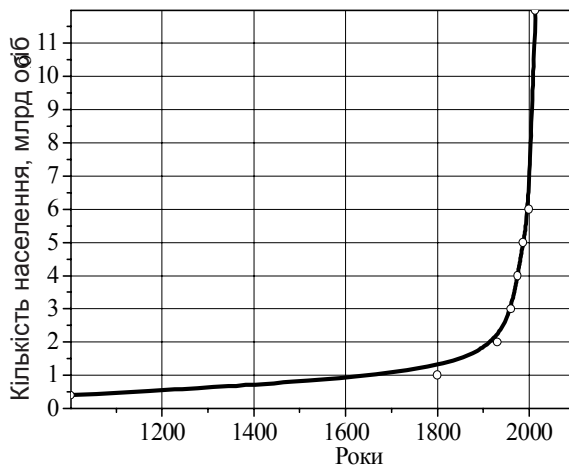


Рис. 1.1. Динаміка зростання населення Землі



Глобальними екологічними негараздами, що діють у масштабі планети, вважають декілька.

I. Першоджерелом та першопричиною всезростаючого впливу антропогенних факторів на біосферу є *демографічний вибух*. Зростання народонаселення (рис. 1.1), яке раніше відбувалося дуже повільно, зараз іде по висхідній. Якщо з початку свого існування і до 1800 року людство досягло 1 млрд, то 2 млрд було досягнуто вже за 130 років (1930), третій додався за 30 років (1960), четвертий – за 15 (1975), п'ятий за – 12 років (1987). Улітку 1999 р. нас стало 6 млрд.

За прогнозами експертів ООН, в 2100 р. населення Землі стабілізується на рівні приблизно 11–13 млрд осіб.

Збільшення кількості людей веде за собою збільшення потреб у їжі, одязі, помешканні і т. ін. Для задоволення своїх зростаючих потреб і збільшення комфортності існування людство розвинуло до надзвичайно високого рівня енергетику, хімічну, нафтопереробну, металургійну, гірничо-видобувну, машинобудівну й легку промисловості, транспорт і засоби зв'язку. Кожні десять років потреби людства в енергії зростають майже вдвічі.

І хоча демографічні проблеми є глобальними, вирішення їх не може бути стандартним для усіх країн. Так, в Україні чисельність населення на 01.12.1998 р. становила 50,1 млн осіб, тобто з початку 90-х років зменшилася майже на 2 млн. Для нашого суспільства на сьогодні мова йде про збільшення темпів народжуваності, але це вже не екологічні проблеми.

Більше всього потерпає від діяльності людини атмосфера. І глобальні негаразди, що існують, стосуються, в першу чергу, цього середовища.

II. *Парниковий ефект* атмосфери – це властивість атмосфери регулювати променевий теплообмін Землі з космічним простором.

Теорія парникового ефекту на планетарному рівні базується на двох доказах.

*Перший:* температура Венери з досить високою концентрацією  $\text{CO}_2$  в атмосфері досягає плюс 46 °С, а температура Марса, де майже нема  $\text{CO}_2$ , близька до мінус 60 °С, тобто температура планет залежить від концентрації парникових газів у їх атмосферах.

*Другий:* Земля випромінює в космос теплову радіацію на таких довжинах хвиль, які характерні для космічного об'єкта, що має середню температуру мінус 18 °С, хоча її середня температура значно вища. Різницю в температурах пояснюють парниковим ефектом.

В атмосфері Землі парникові гази відіграють роль скла у парнику: пропускають сонячну радіацію, яку поглинає земна поверхня і



затримують теплове випромінювання. До парникових газів переважно відносять: вуглекислий газ, що надходить у атмосферу внаслідок процесу спалювання дров, вугілля, нафти, газу; метан, який виділяється під час розробок газу і гниття органічних решток; водяну пару. А також оксиди азоту, фреони (хлорфторвуглеводні) та озон.

Нагріта поверхня Землі стає джерелом випромінювання, яке, в основному, поглинає атмосфера (головним чином, водяна пара і вуглекислий газ) – лише 10–20 % випромінювання за ясного неба надходить у космос. Завдяки парниковому ефекту середня температура земної поверхні залишається сталою – плюс 15 °С, без атмосфери вона становила б мінус 23 °С.

Коли ж в атмосфері накопичується надмірна кількість парникових газів, зокрема вуглекислого, то відбувається підсилення парникового ефекту – довгохвильове випромінювання Землі затримується поблизу поверхні, температура зростає, і це може призвести до потепління клімату і, як наслідок, до збільшення посушливості в середніх широтах (тобто в основних зернових районах клімат може стати напівпустельним), а також до танення льодовиків, що може викликати підйом рівня Світового океану.

Проте існують і інші сценарії розвитку подій, пов'язаних із забрудненням атмосфери, – коли запиленість атмосфери буде заважати проникненню теплового випромінювання на Землю, через що температура на планеті знизиться.

Впродовж ХХ ст. спостерігали наростання в атмосфері кількості  $\text{CO}_2$  на 25 %, а метану – на 100 %. За прогнозами розвитку світової економіки і виробництва енергії, якщо темпи споживання видобувних палив збережуться, то вже на початку наступного століття вміст

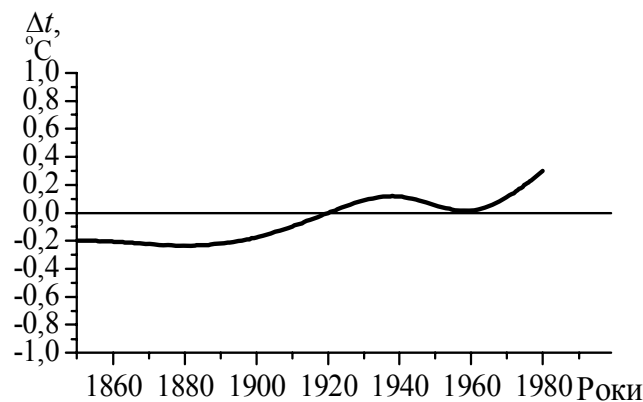


Рис. 1.2. Відхилення від середньої температури

$\text{CO}_2$  в атмосфері збільшиться в 2 рази (приблизно з 0,03 до 0,06 %).

За останні 140 років відбулося підвищення на 0,6 °С глобальної температури повітря, усередненої за роками (рис. 1.2). На сьогодні не з'ясовано, чи є це підвищення наслідком

зростання концентрації парникових газів, чи воно є лише відображенням періодичних коливань температури, пов'язаних із змінами в сонячному циклі.

Внаслідок потепління за 100 років температура збільшилася на 0,5–0,7 °С. Середня температура у 1890 р. становила 14,5 °С, а у 1990 р. – 15,0–15,2 °С.

Деякі вчені вважають, що глобальне потепління почалось, і воно загрожує зникненням всього живого на планеті. Інші впевнені, що передбачення кліматичної катастрофи не мають достатнього підґрунтя і провокують людство на передчасні політичні та практичні акції, які виявляються дорогими і непотрібними.

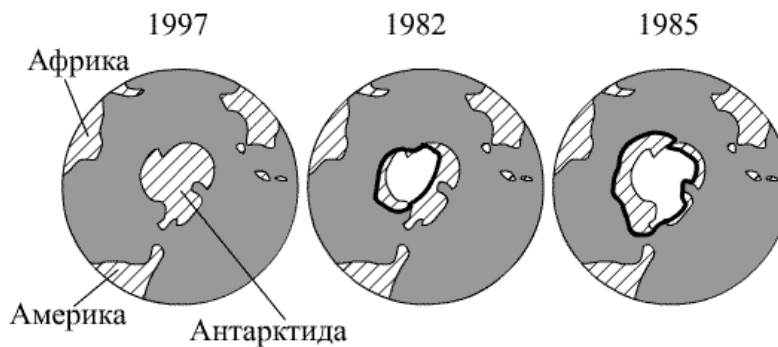
Планування заходів стосовно послаблення парникового ефекту відбувалося в таких напрямках:

- створення спеціального фонду, плата передбачена – \$ 1000 за 1 т CO<sub>2</sub> (1989 р., Гаага);
- скорочення викидів до 2005 р. на 20 % (1989 р., Торонто);
- стабілізація концентрації парникових газів у атмосфері на рівні, що не допускає шкідливого впливу на кліматичну систему (1992 р., Ріо-де-Жанейро).

Двадцять п'ять країн мають прийняти на себе зобов'язання повернутися до рівнів викидів парникових газів 1990 р.

III. “Озонова діра”. Озоновий шар атмосфери (озоносфера планети) розташований на висоті 7–8 км на полюсах і 17–18 км на екваторі і до 50 км. Найщільніший шар озону знаходиться на висоті 20–22 км. У процесі проходження крізь атмосферу значна частина енергії ультрафіолетового випромінювання витрачається на іонізацію кисню й утворення озону. Озоновий шар атмосфери називають щитом від згубного для життя на Землі ультрафіолетового випромінювання. До поверхні Землі надходять довгохвильові промені, захищаючись від яких наша шкіра засмагає (синтезує шар темної речовини – меланіну). Про згубний вплив ультрафіолетового випромінювання свідчать результати дослідів, які були проведені в 70-х роках американськими військовими, що розробляли озонову зброю. Після руйнації прошарку озону над одним з атолів у Тихому океані кілька годин острів піддавався впливу ультрафіолету. В результаті на острові загинуло все живе: рослини, тварини, бактерії. Залишилося кілька черепак, вкритих товстим панциром, та очі їх були випалені.

“Озонова діра” – це значний простір в озоносфері планети з помітним зменшенням (до 50 %) вмісту озону. Середня концентрація озону в стратосфері – 0,0003 %. Коливання в межах 30 % вважається нормальним.



**Рис. 1.3.** Збільшення “озонової діри” над Антарктидою

Руйнування озонного шару відбувається не скрізь однаково. Над Європою, США і Японією в середньому за рік руйнується 3–5 %, більш інтенсивно іде цей процес над Антарктидою – до 15 % в рік. Виявлена “озонова діра” над Антарктидою останні роки все більше хвилює світову спільноту. Вміст озону в ній менший від звичайного на 40–50 %. З роками площа “озонової діри” збільшується (рис. 1.3). У 1985 р. вона вже стала охоплювати площу більшу за материк.

З її розширенням пов’язують можливе зникнення життя на Землі. Останнім часом виявлено, правда, меншу за розмірами “озонову діру” в Північній півкулі (над Шпіцбергенем).

Внаслідок руйнування озонного шару підвищується ультрафіолетове випромінювання, яке веде до збільшення онкологічних та інших захворювань шкіри. Американські вчені вважають, що зменшення озонного шару на 1 % призводить до 2 % підвищення ультрафіолетового випромінювання, що доходить до Землі, і на 2,5 % частіше трапляються випадки захворювання на рак шкіри.

Появу “озонових дір” пояснюють по-різному. Можливо, це пов’язано з природними циклами, на які раніше не звертали уваги.

Але більшість вчених схильється до думки, що руйнуванню озонного шару сприяють хімічні речовини, які вступають в реакцію з озоном і розкладають його на кисень. Перш за все, це фреони: хлорфторвуглеводні (ХФВ) – хімічні сполуки, створені людиною і широко використовувані як аерозолі, холодоагенти і розчинники. Використовуються вони в холодильниках, рефрижераторах та побуті. Виробництво ХФВ сполук у світі досить високе.

Міжнародна конференція (1987 р., Монреаль) прийняла рішення скоротити випуск ХФВ до кінця століття на 50 %.

Такі зв'язуючі озон речовини є і в природі (оксиди азоту), проте більше всього вони викидаються в атмосферу в результаті діяльності людини. Основним постачальниками штучного надходження оксидів азоту в атмосферу є автомобільний транспорт. Частка транспорту в руйнуванні озонового шару становить 12–13 %.

У 1995 р. в Україні протягом трьох діб теж мали місце озонові аномалії, а в цілому стан озонового шару погіршився. Для 1998 р. характерна повна відсутність озонових аномалій, за рік лише один раз відхилення загального вмісту озону (ЗВО) від кліматичної норми досягло критичної межі. Середньорічні значення ЗВО у 1996, 1997 і 1998 роках свідчать про деяке поліпшення стану озонового шару над Україною.

Загальний вміст озоноруйнуючих сполук продовжує збільшуватись, тому пропонується усім країнам ратифікувати угоду, а розвинутим країнам зробити внески в цільові фонди охорони озонового шару і сприяти поширенню технологій заміни ХФВ сполук у країнах, що розвиваються.

IV. Ще один вид забруднення атмосфери, для якого не існує державних кордонів, – *кислотні опади*. Це будь-які опади – дощі, сніг, туман, кислотність яких перевищує нормальну. Природна дощова вода має слабокислу реакцію  $\text{pH}=6,0$ , тому що контактує в атмосфері із  $\text{CO}_2$  (нейтральне середовище має показник водню  $\text{pH}=5,5$ ).

Такі опади пошкоджують рослини, зменшуючи врожайність сільськогосподарських культур; ведуть до загибелі водойм, змінюючи їх хімічний склад, у результаті чого гинуть риби і комахи, а також птахи і тварини, що ними живляться; негативно впливають на ґрунт, вимиваючи з нього кальцій, калій і магній.

Виникають кислотні опади в результаті сполучення оксидів сірки й азоту з атмосферною вологою.

V. *Температурна інверсія* – цілком природне явище, але воно сприяє накопиченню шкідливих викидів поблизу поверхні Землі. Безпечно для сільської місцевості, це явище особливо загрозливе для забруднених міських районів.

Суть його полягає в тому, що за нормальних умов із збільшенням висоти температура повітряних мас зменшується, і це надає змогу забрудненому, більш теплому повітрю підійматися вгору і розсіювати забруднювачі в атмосфері до відносно безпечних концентрацій.

Коли ж впродовж деякого часу після теплих, сонячних днів настають холодні безхмарні ночі, в результаті повітря опускається до земної поверхні воно стискається, і температура його підвищується. Ця повітряна маса нашаровується на більш холодне повітря, під яким, в свою чергу, розташовано прилегле до поверхні тепле повітря. У цьому разі природне перемішування шарів порушується, і забруднене повітря утримується в нижніх шарах атмосфери, що призводить до збільшення концентрацій шкідливих речовин поблизу земної поверхні.

Зараз людство вже має можливості в багатьох галузях виробництва виробляти продукцію, не завдаючи негативного впливу на довкілля. У вирішенні цієї проблеми велику роль відіграють організаційні заходи: заборона введення в експлуатацію промислових об'єктів без очисних споруд і виконання вимог щодо скидання стічних вод, а також удосконалення технологій виробництва. Застосовуються так звані безводні і маловодні технологічні цикли, замкнуті цикли, безвідходні технології з рециркуляцією сировини, пристрої, які збирають відходи і здійснюють їх утилізацію, нейтралізацію і консервацію. Отже, НТП створює нові можливості для збереження і відновлення природних умов Землі.

## **1.5. Види антропогенного впливу на довкілля**

### **1.5.1. Природні ресурси**

В основному, вплив людини на довкілля полягає у тому, що внаслідок її виробничої діяльності та повсякденного життя відбувається вичерпування природних ресурсів та забруднення різних середовищ.

Ставлення людини до природи, характер і обсяг змін навколишнього середовища визначають через природні ресурси.

*Природні ресурси* – це все, що людина використовує для забезпечення свого існування, – продукти харчування, мінеральну сировину, енергоносії, простір для життя, повітряний простір, воду, об'єкти для задоволення своїх естетичних потреб.

Природні ресурси Землі поділяють на:

1. *Умовно невичерпні*: енергія сонця, океану, вітру і земних надр (геотермальна енергія), а також повітря і вода;

Такі необхідні для життя людини біологічні ресурси, як вода і атмосферне повітря, могли б вважатися невичерпними, настільки

вони великі за об'ємом і масою. Та ці речовини необхідні не взагалі, вони повинні мати цілком певні властивості і якість.

2. *Вичерпні* у свою чергу поділяють на:

– *відновлювальні*: рослинний, тваринний світ і родючість ґрунтів;  
– *невідновлювальні*: життєвий простір, енергія річок і корисні копалини.

В мінеральній природі поновлення відсутнє. Добуті корисні копалини більше не поновлюються.

3. *Вторинні ресурси*.

Останнім часом велику увагу звертають саме на використання енергії умовно невичерпних, а також відновлювальних та вторинних ресурсів як на перспективу розвитку цивілізованого суспільства.

Можна розглядати ще один аспект ресурсів: *замінні та незамінні*. Дрова, вугілля для опалювання, нафта, газ як види моторного палива можна вважати замінними у разі їх закінчення, а кисень – незамінним.

### 1.5.2. Джерела забруднення

Всі організми в процесі життєдіяльності виділяють у довкілля продукти розпаду. Ці надходження роблять середовище менш сприятливим для життя, проте у збалансованій екосистемі виділення одного організму є їжею для інших, і тому продукти розпаду в середовищі не накопичуються. У разі, коли виділення не знищують з такою ж швидкістю, як вони виникають, відбувається накопичення, що спричиняє забруднення середовища. Такий стан властивий людській діяльності.

*Забруднення* – це привнесення в середовище чи виникнення у ньому нових, не характерних йому фізичних, хімічних і біологічних компонентів, або збільшення їх концентрації порівняно з природним рівнем, що призводить до негативних наслідків.

Відбуватися забруднення може: *природними джерелами; штучними джерелами*, серед яких розрізняють: *стаціонарні і пересувні*.

*Природне* забруднення виникає внаслідок надходження порохи (пилу) з космічного простору, який утворюється із залишків метеоритів; внаслідок руйнування і вивітрювання гірських порід та ґрунтів; в результаті вулканічних вивержень; як результат пожеж; від випаровування з поверхонь морів, а також у результаті надходження в атмосферу продуктів гниття, бродіння, розкладання рослин і тварин.

Джерелами *штучного (антропогенного)* забруднення атмосфери є енергетика; промисловість, нафто- і газопереробка, значною мірою, транспорт і сільське та комунальне господарства.

За літературними джерелами розподіл кількості шкідливих речовин, які надходять у атмосферу з різних джерел забруднення, здійснюється так, як показано в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

### Основні забруднювачі атмосфери (за даними 1983 р.)

Шкідливі речовини	Джерела забруднення, млн т		
	Природні	Антропогенні	Загальна маса
Оксид вуглецю	20–40	280–310	300–350
Вуглеводні	100–200	80–90	180–290
Оксиди азоту	90–120	40–50	130–170
Оксиди сірки	100–150	60–100	160–250
Тверді частинки	170–200	70–80	240–280

#### 1.5.3. Види забруднення

Забруднення може спричинятися будь-яким агентом, в тому числі і “найчистішим”. Наприклад, повінь або надмірна, порівняно з природною нормою, кількість води в екосистемі суходолу – це забруднювач. Класифікувати забруднення складно через їх велику кількість і різноманітність. Дуже приблизно і умовно їх можна об'єднати в такі великі групи:

- I. За видом – механічні, хімічні, фізичні, біологічні.
- II. За походженням – матеріальні, енергетичні.
- III. За характером – первинні, вторинні.
- IV. За тривалістю – стійкі, нестійкі, середньотривалі.
- V. За виникненням – навмисні, супутні, аварійно-випадкові.
- VI. За поширенням – локальне, регіональне, глобальне.

#### **I. За видом:**

Механічні – забруднення довкілля, які чинять несприятливий механічний вплив без фізико-хімічних наслідків. Наприклад, засмічування територій, вирубування лісів, викачування води з підземних горизонтів.

Хімічні – забруднення додаванням твердих, рідких і газоподібних сполук штучного походження, які у біосфері порушують встановлені природою процеси.

Фізичні – забруднення полягають у зміні теплових, електричних, радіаційних, світлових, магнітних полів і випромінювань у

природному середовищі, а також шуми, вібрації, гравітаційні сили, спричинені діяльністю людини.

Біологічні – забруднення полягають у привнесенні різних організмів, які з'явилися внаслідок або в результаті діяльності людства (бактеріологічна зброя, нові віруси) або катастрофічне розмноження рослин чи тварин, переселених людиною навмисне чи випадково (кролі, завезені в Австралію, що не мали природних ворогів, розмножилися і нищили рослинність).

#### **II. За походженням:**

##### Матеріальні:

– атмосферні забруднення: газоподібні, пароподібні, рідкі та тверді;

– оборотні, умовно чисті, забруднені шкідливими речовинами стічні води;

– токсичні та нетоксичні тверді відходи.

##### Енергетичні:

– теплові викиди;

– шуми, ультразвук та інфразвук;

– електромагнітні поля;

– вібрації;

– світлове, лазерне, інфрачервоне, ультрафіолетове випромінювання;

– іонізація.

#### **III. За характером:**

Первинні – забруднювачі, які надходять у середовище, утворившись безпосередньо під час природних й антропогенних процесів.

Вторинні – небезпечні забруднювачі, що утворюються (синтезуються) під час фізико-хімічних процесів, які відбуваються у середовищі.

Наприклад, фреони – хімічно інертні біля поверхні Землі, поблизу озонового шару, в результаті фотохімічної реакції під впливом ультрафіолетового випромінювання, утворюють іон хлору, який спричиняє руйнування озонового екрану планети.

#### **IV. За тривалістю:**

Стійкі – забруднювачі, які довго не зникають, не знищуються природою, мають здатність накопичуватися (пластмаси, поліетилен, важкі метали, радіоактивні елементи).

Нестійкі – забруднювачі, що негативно впливають короткий час, розкладаються, розсіюються, розчиняються чи знищуються завдяки природним або біологічним процесам.

Середньотривалі – негативний вплив забруднення відбувається якийсь певний період часу, а потім зникає.



#### V. За виникненням:

Під навмисними забрудненнями мають на увазі цілеспрямоване знищення лісів, використання родючих земель, утворення кар'єрів, териконів, неправильне використання поверхневих і підземних вод, мінеральних ресурсів, вилов риби і т. і.

Супутні забруднення – поступова зміна атмосфери, гідросфери, літосфери і біосфери окремих районів та планети в цілому від комплексного негативного впливу антропогенної діяльності людини (спустелювання, висихання боліт, поява кислотних опадів, потепління клімату, зменшення озонового шару).

Аварійно-випадкові – назва говорить сама за себе – забруднення, які виникають внаслідок аварії.

#### VI. За поширенням:

Локальне (місцеве) – забруднення невеликого району, зазвичай довкола промислового підприємства, населеного пункту, транспортної магістралі.

Регіональне – забруднення, яке спостерігається у межах значного простору, але не охоплює усю планету.

Глобальне – забруднення, яке простежують в будь-якій точці планети далеко від джерела виникнення. Як приклад, можна назвати факт виявлення ДДТ (сильного отрутохімікату, що давно вже не застосовують) в Антарктиді.

Автомобільний транспорт спричиняє забруднення, вплив яких на атмосферу має різний характер поширення. В табл. 1.3 наведено види забруднення і їх вплив на довкілля.

Таблиця 1.3

#### Поширення забруднення автомобільного транспорту

Поширення і вплив	Тип забруднення
1	2
<i>Локальне</i> Безпосередній вплив на живі організми, який відбувається поблизу джерела забруднення	Сполуки азоту, сірки й альдегіди – причина легеневих хвороб; Оксид вуглецю – порушення постачання організму кисню; Сполуки свинцю – розлад центральної нервової системи; Поліциклічні ароматичні вуглеводні – зростання ризику захворювання раком; Шум – порушення органів слуху та роботи ендокринної системи; Електромагнітні коливання – їх вплив на організм пов'язаний з перенесенням енергії.

1	2
<b>Регіональне</b> Вплив на живі організми через зміну факторів оточуючого середовища в певному регіоні поширення забруднення	Сполуки азоту і сірки – спричинення кислотних опадів; Сполуки азоту, вуглеводні, сполуки сірки, сажа – складові смогів.
<b>Глобальне</b> Опосередкований вплив через порушення умов існування живих істот у масштабі планети	Хлорфторвуглеводневі сполуки (ХФВ) – порушення озонового шару; ХФВ, вуглекислий газ – порушення парникового ефекту і, як результат, потепління клімату.

#### 1.5.4. Санітарно-гігієнічне нормування

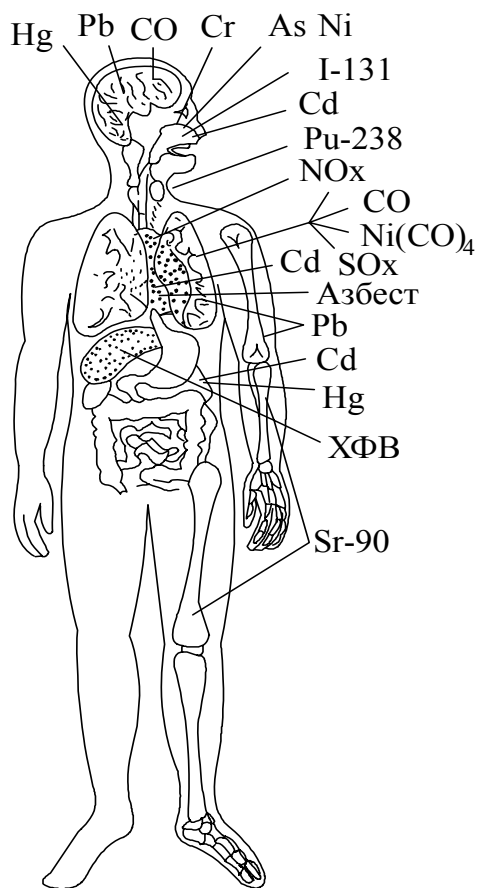


Рис. 1.4. Вплив металів та шкідливих речовин на організм людини

Живі організми перебувають під владою середовища: середовище встановлює межі, в яких вони мають пристосуватися жити або загинути. Антропогенна діяльність чинить значний негативний вплив на середовище, і разом з усім живим людина як біологічний вид піддається впливу зміненого її діяльністю середовища.

Нормування якості навколишнього природного середовища – це діяльність щодо встановлення нормативів гранично допустимого впливу людини на природу.

Дуже негативні наслідки пов'язані з токсичними (отруйними) речовинами, які, навіть у разі невеликих концентрацій, постійно надходять у довкілля. В наступних розділах буде розглянуто, який вплив на здоров'я людини чинять різні

шкідливі речовини, зокрема і ті, що викидають з відпрацьованими газами двигунів.

На рис. 1.4 показано, які шкідливі речовини уражають життєво важливі органи людини. Важкі метали: ртуть (*Hg*) – уражає систему травлення, нирки, накопичується у мозочку, вражаючи нервову систему; свинець (*Pb*) – уражає легені, кістки, мозок, органи травлення; хром (*Cr*) – спричиняє алергію, астматичний стан, кровотечу; нікель (*Ni*), миш'як (*As*) – уражають слизові оболонки; кадмій (*Cd*), особливо оксиди, – спричиняють дистрофію внутрішніх органів та серцеві хвороби. Йод (*I-131*) накопичується у щитовидній залозі. Плутоній (*Pu-239*) та азбест шкідливо впливають на легені й серце. В печінці накопичуються – хлорфторвуглеводні, в кістках – стронцій (*Sr-90*).

Для оцінювання якості навколишнього природного середовища та визначення ступеня забруднення довкілля, а також впливу того чи іншого забруднювача на природу і здоров'я людини існує система гігієнічних нормативів.

Гранично допустимою концентрацією шкідливої речовини (ГДК) вважається така концентрація забруднювачів у природному середовищі, яка не чинить на людину прямого чи опосередкованого шкідливого впливу, не зменшує її працездатність, не впливає на самопочуття і настрої, не шкодить її здоров'ю в разі постійного контакту, а також не викликає небажаних (негативних) наслідків у нащадків.

Для кожної речовини, що забруднює атмосферу, встановлені такі нормативи ГДК:

– *максимальна разова ГДК шкідливої речовини в повітрі населених місць* – концентрація, яка не викликає рефлекторної реакції в організмі людини (запах, тепло, світло тощо) внаслідок 20-хвилинної дії на людину;

– *середньодобова ГДК шкідливої речовини в повітрі населених місць* – концентрація, яка не чинить шкідливого впливу на людину в разі невизначено тривалої цілодобової дії;

– *ГДК шкідливої речовини в повітрі робочої зони* – концентрація, яка не викликає у працівників, за умови щоденного впливу в межах 8 годин впродовж усього робочого стажу, захворювань або відхилень у стані здоров'я, що виявляються безпосередньо в процесі роботи, або у віддалений термін.

Для питної води ГДК на деякі шкідливі речовини були затверджені ще у 1939 р. На сьогодні для водних об'єктів їх кількість наближається до 2000. Для атмосферного повітря у 1951 р. було введено ГДК для 10 речовин – зараз їх близько 500. Для ґрунтів ГДК

вперше встановлена у 1980 р., тепер їх близько 100. Для різних середовищ значення ГДК одних і тих же шкідливих речовин різняться, пояснюється це тим, що однакові концентрації по-різному впливають на організми залежно від того, де вони знаходяться: в повітрі, ґрунті чи воді. ГДК встановлюються головними санітарними інспекціями в законодавчому порядку або рекомендуються відповідними установами, комісіями на основі результатів наукових досліджень, а також відомостей, одержаних під час і після аварій, військових дій, природних катастроф з використанням тривалих медичних досліджень людей на шкідливих виробництвах.

Якщо має місце наявність кількох забруднювачів, то сума відношень концентрацій до ГДК не повинна перевищувати одиницю

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1,$$

де  $C_i$  – концентрація  $i$ -ї шкідливої речовини, мг/м<sup>3</sup>;

$ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -ї шкідливої речовини, мг/м<sup>3</sup>.

Щоб забезпечити якість природного середовища для усіх об'єктів, які є забруднювачами, розраховують і встановлюють норми на *гранично допустимі викиди* (ГДВ).

*Гранично допустимий викид* (ГДВ) – це кількість шкідливих речовин, яка не повинна перевищуватися під час викиду за одиницю часу, щоб концентрація забруднювачів в середовищі не була вищою ГДК.

З метою контролю за якістю викидів проводять інвентаризацію джерел забруднення, а також екологічну паспортизація об'єктів, які забруднюють довкілля.

Для атмосфери в ГОСТ 17.2.3.02-78 визначено правила встановлення ГДВ шкідливих речовин. Встановлюють ГДВ на основі розрахунків з урахуванням розсіювання забруднювачів у атмосфері.

Існують методики для встановлення *гранично допустимих скидів* (ГДС) водних об'єктів. ГДС встановлюють для кожної контрольованої речовини з урахуванням фонові концентрації, категорії водоспоживання, норм і якості води та асимілюючої здатності водного об'єкта (асиміляція – засвоєння та використання організмом необхідних для його розвитку речовин, що надходять у нього з навколишнього середовища).

## ДІЇЩА 2

### ПРОБЛЕМИ ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

---

#### 2.1. Екологічні механізми природоохоронної діяльності в Україні

*Загальні положення.* Протягом останніх трьох десятиріч в Україні була сформована система управління природоохоронною діяльністю. Розрізняють два головних періоди розвитку цієї системи:

– регулятивний — з 60-х до початку 90-х років ХХ ст., коли було прийнято низку законодавчих актів з питань охорони навколишнього природного середовища;

– еколого-економічний, починаючи з 1991 р., коли було введено в дію Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища”, яким були встановлені засади формування економічних механізмів природокористування та природоохоронної діяльності.

В подальшому цей механізм з різною мірою повноти набуває розвитку в розроблених відповідно до зазначеного Закону земельного, водному, лісовому законодавстві, законодавстві про надра, про охорону атмосферного повітря, постановах Кабінету Міністрів України та в інших інструктивних та нормативно-методичних документах.

Найважливішими функціональними елементами державної системи управління природоохоронною діяльністю є наступні складові економічного механізму природокористування та природоохоронної діяльності, а саме:

– механізми зборів за забруднення навколишнього природного середовища та за спеціальне використання природних ресурсів;

– механізм відшкодування збитків, заподіяних внаслідок порушення законодавства про охорону довкілля;

– система державного бюджетного фінансування природоохоронних заходів через головний розділ у складі Держбюджету “Охорона навколишнього природного середовища та ядерна безпека”, Державний, республіканський АР Крим та місцеві фонди охорони навколишнього природного середовища у складі відповідних бюджетів.

Важливо зазначити, що Законом України “Про систему оподаткування” від 25.06.1991 р. (з подальшими змінами та доповненнями) збір за забруднення навколишнього природного середовища та збір за спеціальне використання природних ресурсів віднесені до загальнодержавних податків і зборів (обов’язкових платежів). Економічні механізми природокористування та природоохоронної діяльності в Україні базуються на таких головних засадах:

– платність за спеціальне використання природних ресурсів та за шкідливий вплив на довкілля;

– цільове використання коштів, отриманих від зборів за спеціальне використання природних ресурсів та забруднення довкілля, на ліквідацію джерел забруднення, відновлення та підтримання природних ресурсів у належному стані.

Головною метою економічних механізмів природокористування та природоохоронної діяльності є:

– стимулювання шляхом впровадження еколого-економічних інструментів природокористувачів до зменшення шкідливого впливу на довкілля, раціонального та ощадливого використання природних ресурсів та зменшення енерго- і ресурсомісткості одиниці продукції;

– створення за рахунок коштів, отриманих від екологічних зборів та платежів, незалежного від державного та місцевих бюджетів джерела фінансування природоохоронних заходів та робіт.

*Збір за забруднення довкілля.* Одним із перших еколого-економічних інструментів природоохоронної діяльності став механізм плати за забруднення навколишнього природного середовища, впроваджений постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 1992 року № 18 “Про затвердження Порядку визначення плати і справляння платежів за забруднення навколишнього природного середовища і Положення про республіканський позабюджетний фонд охорони навколишнього природного середовища”. Згідно з цією постановою, була введена пряма плата за забруднення, яка залежить від кількості та “якості” забруднюючих речовин. Ця плата справлялася за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, за скиди забруднюючих речовин безпосередньо у водні об’єкти та за розміщення відходів.

Важливо, що, згідно з цією постановою, плата за забруднення навколишнього природного середовища не звільняє підприємства від відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення природоохоронного законодавства.

Відповідно до цієї постанови Мінекоресурсів за погодженням з Міністерством економіки України і Міністерством фінансів України, в 1992 році розробило і направило до Уряду АР Крим, облдержадміністрацій, Київської та Севастопольської міських держадміністрацій, місцевих природоохоронних органів “Методику визначення тимчасових нормативів плати і стягнення платежів за забруднення навколишнього природного середовища”.

В основу методології встановлення нормативів, які визначали розміри плати за забруднення, було покладено:

- величину еколого-економічного збитку;
- обсяг грошових коштів, що необхідно “отримати” з кожної тони викидів, скидів, розміщених відходів для створення джерела фінансування екологічної діяльності, який був би незалежним від державного бюджету;
- економічний стан підприємств-забруднювачів.

З метою вдосконалення діючої системи визначення розмірів плати, для підвищення їх ефективності та у зв'язку з гіперінфляцією в 1992 р. Мінекоресурсів почало розробку “Базових нормативів оплати за забруднення природного середовища з урахуванням отриманого досвіду та інфляційних процесів”. За основу був взятий індекс зростання цін на будівельно-монтажні роботи в цілому по країні, оскільки отримані кошти за забруднення навколишнього природного середовища переважно мають спрямовуватися саме на будівельно-монтажні роботи із спорудження водоочисних споруд, полігонів для розміщення та утилізації відходів, газоочисного обладнання.

На основі офіційних статистичних даних та з урахуванням вищезазначених мотивів був визначений коефіцієнт індексації (92 рази) і замість Тимчасових нормативів плати за забруднення були розроблені “Базові нормативи плати за забруднення навколишнього природного середовища України” та “Методика визначення розмірів плати і стягнення платежів за забруднення навколишнього природного середовища України”, затверджені наказом Мінекоресурсів та зареєстровані в Міністерстві юстиції 14.05.1993 р. за № 46.

У “Базових нормативах плати за забруднення навколишнього природного середовища” був значно зменшений перелік визначених і встановлених попередньою “Методикою ставок плати” щодо викидів у повітря (із 2240 до 92), щодо скидів у воду (із 31 до 27 речовин).

Нормативи речовин, які не ввійшли до цього Переліку, визначалися таблицею ГДК забруднюючих речовин та класу небезпечності. Це, у свою чергу, спонукало забруднювачів до розробки нормативів ГДВ у повітря та ГДС забруднюючих речовин у водні об'єкти.

У зв'язку з постійним зростанням інфляції в країні Мінекоресурсів, за погодженням із Міністерством економіки і Міністерством фінансів, переглянуло розміри нормативів плати за забруднення довкілля і збільшило їх у 50,2 рази, взявши за основу середньозважений показник індексу інфляції в основних галузях народного господарства (наказ Мінекобезпеки від 29.12.1995 р. № 153).

З метою проведення в подальшому своєчасної індексації нормативів плати за забруднення навколишнього природного середовища відповідно до зростання інфляції Мінекоресурсів, за погодженням з Міністерством економіки і Міністерством фінансів, розробило і затвердило (наказ Мінекоресурсів від 27.05.96 № 49) методику індексації нормативів плати за забруднення навколишнього природного середовища.

Для обліку надходження коштів, отриманих від плати за забруднення навколишнього природного середовища та за спеціальне використання природних ресурсів, й використання цих коштів Мінекоресурсів були розроблені, а Міністерством статистики введені відповідні форми державної статистичної звітності: "форма № 1 – екологічні фонди" та форма № 1 – екологічні витрати".

Впровадження в Україні механізму плати за забруднення навколишнього середовища принесло позитивні результати. Реалізовано важливий природоохоронний принцип "забруднювач та споживач платить", що був затверджений Організацією Економічного Співробітництва і Розвитку в 1972 р., як економічний принцип компенсації витрат, пов'язаних із боротьбою із забрудненням довкілля. Тепер забруднювачі повинні відшкодовувати витрати, пов'язані з попередженням забруднення навколишнього середовища і проведенням заходів боротьби із ним.

Стимулююча функція платежів спрямована на запобігання виснаження природних ресурсів і припинення безоплатного використання навколишнього середовища як приймального забруднюючих речовин.

Економічна суть плати за забруднення полягає в тому, що:

– забруднювач і споживач продукції змушені оплачувати (компенсувати) економічні збитки від негативного екологічного впливу на здоров'я людей, об'єкти житлово-комунального господарства (житловий фонд, міський транспорт, зелені насадження тощо),



сільськогосподарські угіддя, водні, лісові, рибні та рекреаційні ресурси, основні фонди промисловості тощо. При цьому слід враховувати, що наразі не йдеться про юридичну відповідальність у повному обсязі за забруднення навколишнього середовища;

– платежі за забруднення стали основою створення місцевих, республіканського АР Крим і Державного фондів охорони навколишнього природного середовища, незалежного від державного та місцевих бюджетів джерела фінансування природоохоронних заходів і робіт.

Причому плату за забруднення здійснюють у межах ГДВ, ГДС, ТПВ, тимчасово-погоджених скидів (ТПС), віднесених на собівартість продукції (включають до валових витрат і оплачує споживач, чим реалізовано принцип “споживач платить”. До понаднормативного (понад ГДВ, ГДС, ТПВ, ТПС), понадлімітного забруднення застосовують штрафні санкції, які сплачують за рахунок прибутку підприємства-забруднювача.

В умовах ринкових відносин, конкуренції плата стимулює виробника до зменшення рівня забруднення з метою зменшення ціни продукції та підвищення її конкурентоспроможності.

Слід зазначити, що екологічні нормативи (ГДВ, ГДС, ТПВ, ТПС) регулярно переглядають, вони стають більш жорсткими та їх встановлюють на окремі терміни із зазначенням природоохоронних робіт, які треба виконати підприємству-забруднювачу.

Проте з часу виходу постанови Кабінету Міністрів України від 13.01.1992 р. № 18 відбулися деякі зміни в економіці та законодавстві, отриманий певний досвід у справлянні збору за забруднення навколишнього природного середовища. Тому Мінекобезпеки, за погодженням з іншими зацікавленими центральними органами виконавчої влади, розробило нову редакцію “Порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору”, затверджену постановою Кабінету Міністрів України від 01.03.1999 р. № 303.

Характерною рисою цього Порядку є спрощення системи платежів за забруднення навколишнього природного середовища.

Зокрема скасована авансова щоквартальна форма плати за забруднення, яка в умовах нестабільності роботи підприємств стала “несправедливою”. Діюча авансова форма сплати в багатьох випадках призводила до переplat підприємствами і викликала багато нарікань від них. Тому Порядком встановлено, що збір за забруднення навколишнього природного середовища сплачує платник щоквартально відповідно до фактичних обсягів викидів (для стаціонарних джерел забруднення), скидів, розміщення відходів та

кількості використаного пального (для пересувних джерел забруднення) до 20 числа місяця, що настає за звітним кварталом.

Остаточну сплату збору за звітний рік платник здійснює відповідно до фактичних обсягів викидів, скидів, розміщення відходів та кількості використаного пального (для пересувних джерел забруднення) у 10-денний термін після подання платниками збору річної статистичної звітності про кількість викидів, скидів, розміщення відходів та використаного пального.

Остаточний розрахунок збору за звітний рік і сплату його здійснюють платники, які не подають річної статистичної звітності, за довідками про фактичні обсяги викидів, скидів, розміщення відходів та використаного пального, що подають до 15 січня до органів державної податкової служби, за попереднім погодженням з органами Мінекобезпеки.

Скасовані пункти, що суперечили чинному базовому законодавству з питань оподаткування, зокрема це стосується пунктів, якими встановлювалося, що:

- місцеві ради базового рівня мали право звільняти повністю або частково від плати за забруднення навколишнього природного середовища збиткові та низькорентабельні підприємства;

- Рада міністрів АР Крим, обласні, Київська та Севастопольські міські держадміністрації могли звільняти підприємства від плати за забруднення, за викиди і скиди забруднюючих речовин у межах гранично допустимих викидів і скидів.

Розширено перелік платників за забруднення пересувними джерелами забруднення, шляхом введення нормативів плати за забруднення при спаленні ними зрідженого нафтового та стисненого природного газу, мазуту.

З метою спрощення системи плати встановлено перелік основних забруднюючих речовин, за викиди та скиди яких обов'язково справляють плату. Одночасно Рада міністрів АР Крим, обласні, Київська та Севастопольські міські ради, за поданням органів Мінекобезпеки, можуть збільшувати перелік видів забруднюючих речовин, на які встановлюють збір за викиди і скиди. Це нововведення дає можливість у разі незначних обсягів забруднення, а відповідно і розмірів платежів (коли адміністративні витрати щодо визначення та встановлення платежу в декілька разів перевищують розмір плати) такий платіж не стягати.

Перелік викидів основних забруднюючих речовин від стаціонарних джерел забруднення включає 25 видів. Ставки нормативів збору складали від 2 до 67871 гривні за 1 тону викиду забруднюючої речовини.

При визначенні розміру платежу за забруднення навколишнього природного середовища застосовують деякі коригуючі коефіцієнти.

Одним із важливих моментів нового Порядку є покладення контролю за повноту та своєчасність платежів за забруднення навколишнього природного середовища на Державну податкову адміністрацію. До цього часу такий контроль законодавчо не був встановлений.

Цією ж постановою Кабінет Міністрів України затвердив “Базові нормативи плати за забруднення навколишнього природного середовища України”, які до того були затверджені наказом Мінекобезпеки та зареєстровані в Міністерстві юстиції.

Відповідно до Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища” збори за забруднення навколишнього природного середовища платники (крім розташованих у містах загальнодержавного значення) перераховують у таких розмірах:

– 20 відсотків — на окремі рахунки до місцевих фондів охорони навколишнього природного середовища, що утворюються у складі сільських, селищних, міських бюджетів;

– 50 відсотків — на окремі рахунки до місцевих фондів охорони навколишнього природного середовища, що утворюються у складі бюджету Автономної Республіки Крим, обласних бюджетів;

– 30 відсотків — на окремий рахунок до Державного фонду охорони навколишнього природного середовища, що утворюється у складі Державного бюджету України.

Платники збору, розташовані у містах Києві та Севастополі, збори за забруднення навколишнього природного середовища перераховують у таких розмірах:

– 70 відсотків — на окремі рахунки до місцевих фондів охорони навколишнього природного середовища, що утворюються у складі міських бюджетів;

– 30 відсотків — на окремий рахунок до Державного фонду охорони навколишнього природного середовища, що утворюється у складі Державного бюджету України.

Збір, який справляють за викиди стаціонарними джерелами забруднення, скиди та розміщення відходів у межах лімітів, відносять на валові витрати виробництва та обігу, а за перевищення цих лімітів — стягують з прибутку, що залишається у розпорядженні юридичних осіб. Фізичні особи, які є суб'єктами підприємницької діяльності, сплачують цей збір за рахунок свого доходу.

Збір, який справляють за викиди пересувними джерелами забруднення, відносять на валові витрати виробництва та обігу.

Для бюджетних організацій збір за забруднення навколишнього природного середовища відносять на видатки і передбачають у кошторисі доходів і видатків. Не внесені своєчасно кошти збору стягують із платників у встановленому законодавством порядку.

Облік платників плати за забруднення навколишнього природного середовища та контроль за своєчасністю внесення платежів до 1999 року номінально здійснювався органами Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України. Проте можливості контролю за станом надходження платежів на спеціальні рахунки місцевих рад органами Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України обмежені, що давало можливість окремим платникам уникати сплати цього збору.

*Відшкодування збитків, заподіяних порушенням природоохоронного законодавства.* Чинним законодавством передбачено, що стягнення платежів за забруднення навколишнього природного середовища не звільняє підприємства від відшкодування збитків, заподіяних порушенням природоохоронного законодавства.

Розроблені та діють методики розрахунків розмірів відшкодування збитків, заподіяних порушенням природоохоронного законодавства в окремих природних сферах. Основними поміж них є:

– “Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря”, затверджена Мінекобезпеки.

– “Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів”, затверджена Мінекобезпеки;

– “Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства”, затверджена Мінекобезпеки.

Цими методиками визначені умови настання відповідальності юридичних і фізичних осіб за порушення природоохоронного законодавства в частині викидів у атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними джерелами і скидів забруднюючих речовин у водні об’єкти, забрудненням і засміченням земельних ресурсів.

Зокрема, “Методикою розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря”, встановлена відповідальність за порушення природоохоронного законодавства, якщо:

– фактичні викиди забруднюючих речовин перевищують рівень гранично допустимих або тимчасово погоджених викидів, встановлених дозволами на викиди, виданими у встановленому порядку;

– відсутні дозволи на викиди забруднюючих речовин, в тому числі і за окремими інгредієнтами;

– викиди забруднюючих речовин здійснювалися з перевищенням граничних нормативів їх утворення і вмісту в газах, що відходять від окремих типів технологічного та іншого обладнання.

Водним кодексом України встановлено, що порушення водного законодавства тягне за собою дисциплінарну, адміністративну, цивільно-правову або кримінальну відповідальність, згідно із законодавством України.

Відповідальність за порушення водного законодавства несуть особи, винні у:

- самовільному захопленні водних об'єктів;
- забрудненні та засміченні вод;
- порушенні режиму господарської діяльності у водоохоронних зонах та на землях водного фонду;
- руйнуванні русел річок, струмків та водотоків або порушенні природних умов поверхневого стоку під час будівництва та експлуатації автошляхів, залізниць та інших інженерних комунікацій;
- введенні в експлуатацію підприємств, комунальних та інших об'єктів без очисних споруд чи пристроїв належної потужності;
- недотриманні умов дозволу або порушенні правил спеціального водокористування;
- самовільному проведенні гідротехнічних робіт (будівництво ставків, дамб, каналів, свердловин);
- порушенні правил ведення державного обліку вод або переключенні чи внесенні недостовірних відомостей у документи держстатистичної звітності;
- пошкодженні водогосподарських та гідротехнічних споруд і пристроїв, порушенні правил експлуатації та встановлених режимів їх роботи;
- незаконному створенні систем скидання зворотних вод у водні об'єкти, міську каналізаційну мережу або зливну каналізацію та несанкціонованому скиданні зворотних вод;
- використанні земель водного фонду не за призначенням;
- неповідомленні (приховуванні) відомостей про аварійні ситуації на водних об'єктах;
- відмові від надання (приховуванні) проектної документації та висновків щодо якості проектів підприємств, споруд та інших об'єктів, що можуть впливати на стан вод, а також актів і висновків комісій, які приймали об'єкт в експлуатацію;
- порушенні правил охорони внутрішніх морських вод та територіального моря від забруднення та засмічення.

Водокористувачів звільняють від відповідальності за порушення водного законодавства, якщо воно виникло внаслідок дії непереборних сил природи чи воєнних дій.

– “Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів”, встановлює відповідальність за порушення природоохоронного законодавства при:

– самовільних скидах зворотних вод з підприємств, суден та об’єктів, на які не видані дозволи на спецводокористування або не встановлені норми гранично-допустимих чи тимчасово-узгоджених скидів забруднюючих речовин;

– перевищенні затверджених нормативів і норм скидів забруднюючих речовин (г/м<sup>3</sup>);

– скидах забруднюючих речовин, не зазначених у дозволах на спецводокористування чи нормах ГДС, якщо їх концентрація перевищує ГДК;

– самовільних скидах зворотних вод чи сировини з морських або річкових суден, плавзасобів, надводних або підводних споруд;

– надходженні зворотних вод або забруднюючих речовин у поверхневі, підземні та морські води внаслідок аварій на насосних станціях, колекторах та інших спорудах, витоку таких вод чи речовин внаслідок порушення технологій, техніки безпеки, скиду сировини внаслідок аварій на нафтопродуктопроводах, нафтотерміналах тощо;

– вимушених санкціонованих аварійних скидах, що не передбачалися проектом, але здійснені з метою попередження аварійних ситуацій;

– скидах шкідливих речовин, що призвели до забруднення підземних вод як безпосередньо, так і внаслідок забруднення поверхні землі та зони аерації ґрунтів.

Плата за завдання шкоди земельним ресурсам визначена “Методикою визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства”, якою встановлено, що головним фактором порушення природоохоронного законодавства є виявлення в складі земель кількісних або якісних змін, що сталися в результаті господарської діяльності та інших антропогенних навантажень. Ці зміни можуть бути зумовлені не тільки появою в зоні аерації нових речовин, яких раніше тут не було, а й збільшенням вмісту речовин, характерних для складу незабрудненого ґрунту або порівняно з даними агрохімічного паспорта для земель сільськогосподарського призначення. Цю “Методику” застосовують при встановленні розмірів

шкоди від забруднення земель будь-якого цільового призначення (всі землі України), що сталося внаслідок неорганізованих (непередбачених проектами, дозволами тощо) скидів (викидів) речовин, сполук і матеріалів, а також в аварійних ситуаціях (прорив очисних споруд, транспортних трубопроводів, ємкостей різного призначення та ін.); внаслідок порушення норм екологічної безпеки при зберіганні, транспортуванні, використанні пестицидів і агрохімікатів, токсичних речовин, виробничих і побутових відходів; самовільного захоронення (складування) промислових, побутових та інших відходів.

Методику не поширюють на визначення розмірів шкоди, завданої земельним ресурсам внаслідок їх радіоактивного і бактеріального забруднення.

*Збір за спеціальне використання природних ресурсів.* Законом України “Про охорону навколишнього природного середовища” встановлено, що використання природних ресурсів здійснюють у порядку загального та спеціального використання.

Законодавство України гарантує громадянам право загального використання природних ресурсів для задоволення життєво необхідних потреб безоплатно, без закріплення цих ресурсів за окремими особами і надання на це відповідних дозволів, за винятком обмежень, передбачених законодавством України.

В порядку спеціального використання природних ресурсів громадянам, підприємствам, установам і організаціям надають за плату у володіння, користування або оренду природні ресурси на підставі спеціальних дозволів, зареєстрованих у встановленому порядку, для здійснення виробничої та іншої діяльності, а у випадках, передбачених законодавством України, – на пільгових умовах.

Впроваджена плата за спеціальне використання водних ресурсів, надр для видобування корисних копалин, земельних, лісових ресурсів, диких тварин, рибних та інших водних живих ресурсів.

Механізм платного використання природних ресурсів забезпечено як на рівні законів, постанов Уряду, так і конкретних методик, інструкцій і форм статистичної звітності.

*Водні ресурси.* Засади формування економічного механізму охорони водних ресурсів в Україні зрегламентовані Законом України “Про охорону навколишнього природного середовища” та Водним кодексом.

Важливою складовою економічного механізму водовикористання є збір за використання та користування водними ресурсами, який справляють з метою забезпечення раціонального використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів, що зумовлене дефіцитністю та зростаючим виснаженням їх як природного ресурсу.



Відповідно до Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища” Водним кодексом встановлено, що використання вод здійснюють у порядку загального і спеціального водокористування, для потреб гідроенергетики, водного і повітряного транспорту.

Загальне водокористування здійснюють громадяни для задоволення їх потреб (купання, плавання на човнах, любительське і спортивне рибальство, водопій тварин, забір води з водних об’єктів без застосування споруд або технічних пристроїв та із криниць) безкоштовно, без закріплення водних об’єктів за окремими особами та без надання відповідних дозволів.

Спеціальне водокористування здійснюють юридичні і фізичні особи насамперед для задоволення питних потреб населення, а також для господарсько-побутових, лікувальних, оздоровчих, сільськогосподарських, промислових, транспортних, енергетичних, рибогосподарських та інших державних і громадських потреб.

Водокористування не є спеціальним, якщо воно пов’язане з пропуском води через гідровузли, із судноплавством, подачею (перекачуванням) води водокористувачам у маловодні регіони, усуненням шкідливої дії вод (підтоплення, засолення, заболочення тощо), використанніям підземних вод для вилучення корисних компонентів, вилученням води з надр разом з видобуванням корисних копалин, виконанням будівельних, днопоглиблювальних і вибухових робіт, видобуванням корисних копалин, прокладанням трубопроводів і кабелів, а також буровими, геологорозвідувальними та іншими роботами на водних об’єктах, які виконують без забору води та скидання стічних вод.

Починаючи із 1992 р., в Україні на основі нових методологічних підходів до визначення економічної оцінки води в системі водозабезпечення (рентна концепція) та розподілу витрат між усіма учасниками водогосподарського комплексу почали розроблятися нормативи плати за спеціальне використання водних ресурсів.

За поданням Мінекобезпеки постановою Кабінету Міністрів України № 75 від 08.02.1994 р. були введені “Тимчасові нормативи плати за спеціальне використання водних ресурсів” “Порядок справляння плати”. Був створений економічний механізм спеціального використання водних ресурсів.

На сьогодні розрахунки такого збору та порядок його справляння здійснюють згідно з нормативами плати за спеціальне використання водних ресурсів та плати за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 18.05.1999 р. № 836 зі зміна-



ми, викладеними у редакції постанови Кабінету Міністрів від 23.07.1999 р. № 1341, та “Порядку справляння збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 16.08.1999 р. № 1494, а також “Інструкцією про порядок обчислення та справляння збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту”, затвердженою спільним наказом Міністерства фінансів України, Міністерства економіки України, Мінекобезпеки та Державної податкової адміністрації.

Введення збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту не звільняє суб'єктів підприємницької діяльності від сплати платежів за скид у водні об'єкти забруднюючих речовин, штрафів за порушення природоохоронного законодавства, сплати постачальникам води вартості послуг, пов'язаних з її подачею.

Збір за користування водами для потреб гідроенергетики справляють за користування водою, що пропускають через турбіни гідроелектростанцій для вироблення електроенергії, а підприємств водного транспорту — за користування водою при експлуатації водних шляхів вантажним, самохідним, несамохідним і пасажирським флотами.

Об'єктом обчислення збору за спеціальне використання водних ресурсів є обсяг води, який використовують водокористувачі з урахуванням обсягу втрат води в їх системах водопостачання.

Об'єктом обчислення плати за користування водами для потреб гідроенергетики та водного транспорту є: обсяги води, пропущеної через турбіни гідроелектростанцій; тоннаж (місце) — доба експлуатації вантажних самохідних і несамохідних та пасажирських суден.

Збір за використання водних ресурсів не справляється:

- за воду, що використовують для задоволення питних і санітарно-гігієнічних потреб населення;
- за воду, що використовують для протипожежних потреб;
- за воду, що використовують для потреб зовнішнього благоустрою територій міст та інших населених пунктів;
- за воду, що використовують у шахтах для пилозаглушення;
- за морську воду, крім води з лиманів;
- за воду, що забирають науково-дослідні установи для наукових досліджень у галузі рисосіяння та для виробництва елітного насіння рису;

– за воду, втрачену в магістральних і міжгосподарських каналах зрошувальних систем;

– за підземну воду, що вилучають з надр для усунення шкідливої дії вод (забруднення, підтоплення, засолення, заболочення, зсув тощо);

– за воду, що забирають підприємства і організації для забезпечення випуску молоді цінних промислових видів риби та інших водних живих ресурсів у природні водойми і водосховища.

Збір за користування водами для потреб водного транспорту не справляють з морського водного транспорту, який використовує річковий водний шлях виключно для заходження з моря у морський порт, розташований у пониззі річки, без використання спеціальних заходів забезпечення судноплавства (попуски води із водосховищ та шлюзування).

Не справляють збір за користування водою під час експлуатації водних шляхів стоянковим, службово-допоміжним і буксирним флотами та експлуатації водним транспортом р. Дунаю.

Збір за користування водами для потреб гідроенергетики не справляють з гідроакумуючих електростанцій, які функціонують у комплексі з гідроелектростанціями. Постановою Кабінету Міністрів України від 16.08.1999 р. № 1494 для відповідних категорій водокористувачів збір за спеціальне використання водних ресурсів обчислюють із застосуванням коефіцієнтів для:

– рибогосподарських підприємств з вирощування рибопосадкового матеріалу та товарної риби у ставках та озерах — 0,1;

– сільськогосподарських виробників, включаючи тих, що здійснюють експлуатацію іригаційних і меліоративних систем (виробництво сільськогосподарської продукції та зрошення, крім виробництва рису) – 0,2;

– теплових і атомних електростанцій (виробництво тепло- та електроенергії) – 0,5;

– підприємств житлового та комунального господарства, у т. ч. відомчих — 0,1;

– виробників рису – 0,08.

У межах встановленого ліміту збір за спеціальне використання водних ресурсів відносять на валові витрати виробництва, а за понадлімітне використання обчислюють у п'ятикратному розмірі і справляють за рахунок прибутку водокористувача.

Збір за користування водою для потреб гідроенергетики та водного транспорту повністю відносять на валові витрати виробництва.

Збір за спеціальне використання водних ресурсів загальнодержавного значення та їх понадлімітне використання зараховують

платники в розмірі 80 % до Державного бюджету України за їх місцезнаходженням і 20 % – до бюджетів територіальних громад.

Збір за спеціальне використання водних ресурсів місцевого значення та їх понадлімітне використання зараховують платники в розмірі 100 % до бюджетів територіальних громад за їх місцезнаходженням.

Збір за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту зараховують платники в розмірі 100 % до Державного бюджету України за їх місцезнаходженням.

Контроль за обсягами використання водних ресурсів, їх обліком та достовірністю звітних даних про обсяги використаної води здійснюють у межах своєї компетенції органи Мінекоресурсів Комітету водного господарства та Комітету з питань геології та використання надр.

Контроль за повнотою обчислення і своєчасністю сплати до бюджетів збору за спеціальне використання водних ресурсів та збору за користування водами для потреб гідроенергетики і водного транспорту здійснюють органи державної податкової служби.

*Збір за користування надрами для видобування корисних копалин.* Законом України “Про охорону навколишнього природного середовища” та Кодексом України “Про надра” встановлена плата за користування надрами. Виходячи із встановлених законодавчих засад, здійснювався розвиток відповідної нормативно-методичної бази.

Першим етапом стала постанова Кабінету Міністрів України від 08.02.1994 р. № 85, якою був затверджений «Тимчасовий порядок справляння плати за спеціальне використання надр при видобуванні корисних копалин» у розмірі 1 % від ціни реалізованої продукції (крім вугілля, для якого цей розмір становив 0,5 %).

Розвиток економічної реформи в Україні та недосконалість діючого Порядку, зокрема використання єдиного платежу для всіх видів корисних копалин в розмірі 1 % (за винятком вугілля — 0,5 %) від ціни реалізації вимагав створення механізму, який відповідав би міжнародним стандартам.

Згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 02.08.1996 р. № 899 “Про платежі за користування надрами” Мінекобезпеки розроблені, а постановою Кабінету Міністрів України від 12.09.1997 р. № 1014 затверджені “Базові нормативи за користування надрами для видобування корисних копалин”, залежно від їх видів, та “Порядок справляння плати за користування надрами для видобування корисних копалин”.

Спільним наказом Мінекобезпеки, Державної податкової адміністрації, Міністерства праці та соціальної політики і Держав-

ного Комітету України з геології і використання надр, затверджена “Інструкція про порядок обчислення і справляння платежів за користування надрами для видобування корисних копалин”.

Платежі за користування надрами для видобування корисних копалин належать до категорії рентних і виступають як засіб вилучення державою як власником надр частини доходу надрокористувачів.

Розроблені нормативи плати за користування надрами для видобування корисних копалин, залежно від їх виду, з мінімальною величиною плати, яку користувачі надр мають вносити незалежно від умов і результатів господарювання. Їх розглядають як базові і в подальшому мають диференціювати залежно від геологічних особливостей родовищ та умов їх експлуатації.

В основу встановлення нормативів плати для різних видів корисних копалин покладено комплекс методологічних процедур, який включає:

- узагальнення світового досвіду застосування цих платежів, передусім країн з близькою питомою вагою гірничовидобувного комплексу у структурі економіки (Канада, США, ПАР, Австралія);

- апіорну оцінку очікуваного обсягу надходжень від платежів у системі макроекономічних показників, на рівні 0,5–1% доходів зведеного бюджету;

- оцінку потреб у коштах для фінансування геоекологічних робіт.

Для визначення відносного рівня нормативів плати на основі експертних методів проведена інтегральна ресурсно-економічна оцінка рейтингу різних видів корисних копалин.

Встановлення інтегрального ресурсно-економічного рейтингу корисних копалин залежно від їх видів базувалося на врахуванні наступного переліку ознак:

- стратегічне значення конкретного виду мінеральної сировини;

- ступінь її дефіцитності на державному та міжнародному рівні;

- інвестиційний ризик;

- експортний потенціал;

- технологічність видобутку та переробки;

- технічний рівень підприємств;

- екологічність;

- попит на продукцію на внутрішньому ринку;

- стан основних виробничих фондів;

- співвідношення внутрішніх та світових цін на мінеральну сировину.

Виходячи з фінансово-економічного стану гірничовидобувних підприємств, визнано за доцільне поетапне запровадження базово-

вих нормативів плати. Відповідно до цього постановою Кабінету Міністрів України від 09.08.1999 р. № 1440 до базових нормативів плати за користування надрами для видобування корисних копалин встановлений пільговий коефіцієнт (крім нафти, конденсату, газу, природного вугілля кам'яного і бурого, для яких нормативи плати зберігають на встановленому рівні).

Об'єктом справляння плати за користування надрами для видобування корисних копалин є обсяг фактично погашених у надрах балансових та позабалансових запасів (обсяг видобутих) корисних копалин, що стимулює підприємство до раціонального використання надр.

При розробці техногенних родовищ плату обчислюють за нормативом, встановленим для відповідних видів корисних копалин, з коефіцієнтом 0,5.

При розробці техногенного родовища підприємством, внаслідок діяльності якого це родовище утворилося, плату не справляють.

Плату за користування надрами не справляють при:

- відпрацюванні погашених запасів, що в процесі розробки родовищ були віднесені у встановленому порядку до категорії втрачених у надрах, в тому числі при повторній розробці родовищ;
- використанні гірничо-промислових відходів, що утворюються при переробленні корисних копалин (шлами, пил, шлаки тощо);
- використанні розкривних і супутніх порід, що утворюються при веденні гірничих робіт для видобування корисних копалин, які у встановленому порядку не взяті на баланс корисних копалин.

Плату за користування надрами для видобування корисних копалин за обсяги видобутих корисних копалин та обсяги втрат у надрах, що не перевищують нормативні, відносять до валових витрат виробництва та обігу. Плату за обсяги понаднормативних втрат корисних копалин, а також за обсяги їх видобування понад встановлені квоти (ліміти) справляють з прибутку, що залишається у розпорядженні підприємств.

Обчислення і внесення плати здійснюють відповідно до "Інструкції про порядок обчислення і справляння плати за користування надрами для видобування корисних копалин" та "Методики розрахунку платежів за користування надрами для видобування урану, сировини ювелірної (дорогоцінне каміння), ювелірно-виробної (напівдорогоцінне каміння), виробної (виробне каміння) та облицювальних матеріалів" і внесених змін до "Інструкції про порядок обчислення та справляння платежів за користування надрами для видобування корисних копалин", затвердженої наказом Мінекобезпеки,

Державної податкової адміністрації, Міністерства праці та соціальної політики і Державного Комітету України з геології.

Контроль за правильністю обчислення і своєчасністю внесення плати за користування надрами здійснюють органи Державної податкової адміністрації.

Контроль за правильністю визначення обсягів видобування і погашення запасів корисних копалин здійснюють органи Державного гірничного нагляду у встановленому порядку.

## **2.2. Захист атмосфери**

Атмосфера Землі – це повітряне середовище довкола планети, що обертається разом з нею. Поблизу поверхні Землі атмосфера містить близько 78,09 % азоту, 20,93 % кисню, 0,93 % аргону, вуглекислого газу 0,03 % та в незначній кількості водень та інертні гази.

За результатами досліджень стосовно екології людини вона може прожити без їжі до 5 тижнів, без води – 5 днів, але без повітря не може і 5 хвилин. За добу людина споживає 1 кг їжі, 2,5 л води і 12 кг повітря. Тобто чисте повітря – найголовніший, найважливіший продукт споживання. Окрім того, що основне призначення атмосферного повітря – це постачання людей, тварин і рослин необхідними газовими елементами, воно ще пом'якшує температурні перепади, захищає поверхню Землі від космічного, радіаційного та ультрафіолетового сонячного випромінювання та метеоритів, а також забезпечує виробничі процеси киснем, азотом, воднем і нейтральними газами.

Забруднення атмосфери відбувається внаслідок привнесення в повітря чи утворення в ньому фізичних агентів, хімічних речовин або організмів, які несприятливо впливають на середовище життя чи завдають збитків матеріальним цінностям.

Серед антропогенних джерел забруднення найбільшого тиску на атмосферу завдає автомобільний транспорт.

Вплив на атмосферу автомобільний транспорт здійснює: викидами шкідливих речовин, шумовим забрудненням, електромагнітним забрудненням, забрудненням продуктами зношування.

Через те, що шумове та електромагнітне забруднення є параметричними і не накопичуються в атмосфері, то найсуттєвішим серед названих видів є забруднення шкідливими речовинами.

На рис. 2.1 показано, які зміни відбулися в Україні за період з 1995 до 1998 року. Викиди шкідливих речовин стаціонарних джерел у атмосферу зменшилися на 2045,1 тис. т, тобто майже на 33 %.

Викиди пересувними джерелами, серед яких основними є автомобілі, зменшилися незначно – приблизно на 5 %.

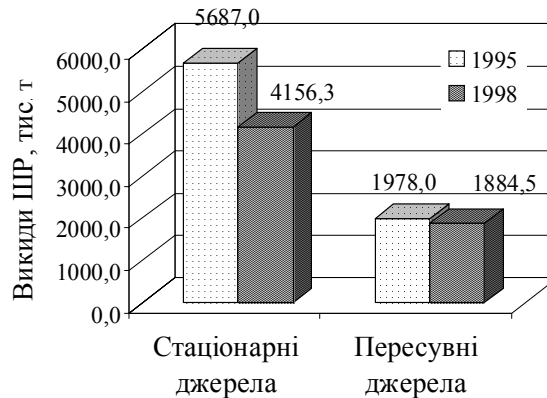
Пояснити це можна економічною скрутою в країні, через яку припинили роботу багато промислових підприємств. Ці проблеми торкнулися і транспортної галузі. Вантажні перевезення зменшилися, але значно зріс парк легкових автомобілів, які перебувають в індивідуальній власності.

В багатьох промислових містах України забруднення досягло небезпечного для життя людини рівня. В тих містах, де промисловість розвинута мало, частка викидів автомобільного транспорту становить більше 60 %, а подекуди 90 %.

Специфіка забруднення атмосфери пересувними джерелами, зокрема автомобілями, полягає у тому, що: темпи зростання чисельності автомобілів досить високі; вони піддають забрудненню великі площі; функціонують в безпосередній близькості до помешкання людей; пересувні джерела мають більшу токсичність за стаціонарні; має місце складність впровадження технічних рішень для зменшення токсичності ВГ двигунів; накопичення забруднювачів відбувається поблизу поверхні землі, в зоні дихання людей.

Охорона атмосферного повітря – система заходів, пов'язаних із збереженням, поліпшенням та відновленням стану атмосферного повітря, запобіганням та зниженням рівня його забруднення та впливу на нього хімічних сполук, фізичних та біологічних факторів. Сюди входить зведення до мінімуму викидів у повітряне середовище.

Нормування забруднення здійснюють за встановленими ГДК для основних шкідливих речовин, що надходять у атмосферу населених пунктів України. Значення ГДК наведено у збірнику "Гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні безпечні рівні дії (ОБРД) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць" та чинному на території України ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".



**Рис. 2.1.** Зміна викидів шкідливих речовин стаціонарними і пересувними джерелами за роками



В табл. 2.1. наведено значення санітарних норм в повітрі населених місць та в робочій зоні для деяких шкідливих речовин, що входять у склад відпрацьованих газів ДВЗ.

Таблиця 2.1

**Значення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин**

Речовини	Гранично допустимі концентрації, мг/м <sup>3</sup>		
	В робочій зоні	В повітрі	
		разові	середньодобові
1	2	3	4
Азот N:			
Оксид NO	30	0,6	0,06
Оксид NO <sub>2</sub>	2	0,45	0,04
Свинець Pb:	0,02	–	0,0003
Нітрат Pb(NO <sub>3</sub> )	0,01	–	0,0003
Сірка S:	6	–	–
Оксид SO <sub>2</sub>	10	0,5	0,05
Вуглець С:	4	0,15	0,05
Оксид CO	20	5	3
Оксид CO <sub>2</sub>	9000	–	–
Бенз(α)пірен C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	0,00015	–	0,000001
Бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	300	200	–
Пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1800	–	–
Паливний бензин з урахуванням С	100	0,05	0,05
Вуглеводні з урахуванням С	300	–	–

Результати останніх досліджень свідчать, що нижніх, безпечних меж впливів канцерогенних речовин та важких металів не існує. Будь-які дози, що перевищують звичайні природні фони, є шкідливими.

Напрямки діяльності спрямованої на захист атмосферного повітря, зокрема від діяльності рухомого складу та інфраструктури транспорту, поділяють на такі групи: організаційно-правові; архітектурно-планувальні, конструкторсько-технічні, експлуатаційні.

Організаційно-правові передбачають створення і вдосконалення правової бази, що регламентує природоохоронні відносини на транспорті. В попередніх розділах посібнику називалися Закони України,



які спрямовані за захист природного середовища і зокрема атмосферного повітря.

Окрім того, є низка нормативних документів (ГОСТ, ДСТУ, ОСТ) щодо охорони атмосфери, які мають чинність в Україні.

Архітектурно-планувальні заходи стосуються планування забудов та організації транспортного сполучення таким чином, щоб зменшити забруднення повітря міста шкідливими речовинами, шумом та зменшити вплив вібрації.

Зменшити рівень екологічної небезпеки від транспорту можна:

- будівництвом шляхопроводів, транспортних розв'язок на різних рівнях, тунелів і пішохідних переходів;
- розширенням магістралей і розвитком вулично-дорожньої мережі;
- введенням автоматизованих систем управління дорожнім рухом, застосуванням руху транспорту за принципом “зелена хвиля” і зменшенням простоїв автомобілів перед світлофорами;
- організацією одностороннього руху на ділянках міської забудови з вузького проїзною частиною;
- виділенням у центральній частині міста територій, в яких заборонено або обмежено пересування великовантажного транспорту;
- розташуванням житлових будівель на відстані від транспортних магістралей;
- передбаченням місць для розміщення зелених насаджень.

Заходи конструкторсько-технологічної та експлуатаційної спрямованості мають дуже широкий спектр, і їм в окремих розділах посібника приділяють значну увагу.

Дуже позитивною якістю атмосферного повітря є те, що в ньому забруднюючі компоненти мають здатність розсіюватися до концентрацій, які не зашкоджують живим організмам.

### **2.3. Водні ресурси та їх захист**

Вода – це середовище, в якому виникло життя і в якому мешкає більша частина живих організмів. Тому воду треба зберігати не лише як ресурс необхідний людині, а і турбуватися про збереження водних екосистем як важливих регуляторів життя на Землі. Вода має унікальну властивість – її максимальна густина має місце за температури плюс 4 °С. З подальшим охолодженням густина води зменшується, тому у водоймах утворення льоду відбувається зверху вниз, внаслідок чого глибокі водойми не промерзають до дна і в них збе-

рігається життя. Замінників воді нема. На сучасному етапі розвитку людства метали замінюють пластмасами, синтезують рослинні і тваринні білки, навіть у деяких випадках для дихання може бути придатною штучна суміш газів.

Вода – своєрідний мінерал, що забезпечує існування живих організмів на планеті. Вона входить до складу клітин і тканин живих організмів. Складні реакції у тваринах і рослинах відбуваються завдяки воді. Клімат і погоду Землі визначають за наявності водою і вмістом водяної пари в атмосфері. Вона служить джерелом енергії, необхідна для промисловості і сільського господарства та задовольняє господарчо-побутові потреби населення.

Запаси води на Землі значні та лише 2 % її загальної кількості придатні для пиття та технічного використання.

Україна, в основному, забезпечена водою для життя і задоволення технічних потреб. Основне джерело води в Україні – Дніпро. Крім того, потреби населення у воді забезпечують такі річки, як Дністер, Південний Буг, Західний Буг, Тиса і ще понад 63 тис. приток і малих річок. Використовують також підземні води. Половина населення України користується дніпровською водою. Решту потреби у питній воді, близько 50 %, забезпечують підземні води.

В 1998 році зменшилося використання води з водних об'єктів (у 1994 – 22575 млн м<sup>3</sup>, у 1998 – 13044 млн м<sup>3</sup>). На це впливає спад виробничої діяльності, але вплив має і введення плати за використання прісних водних ресурсів. Динаміка забору води з поверхневих та підземних водних об'єктів за порівнювані роки наведена на рис. 2.2.

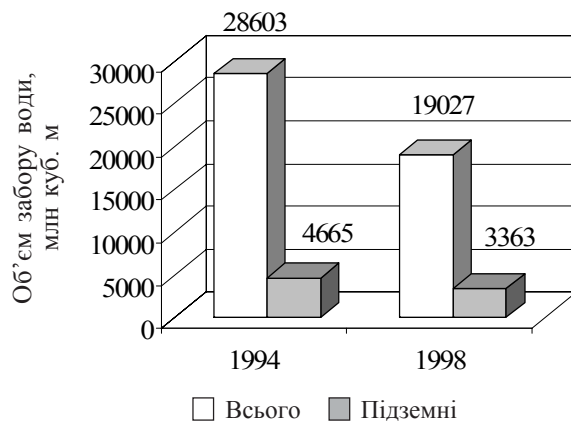


Рис. 2.2. Динаміка обсягів забору води

Для транспортної галузі основними споживачами води є підприємства, які виготовляють транспортні засоби і які їх експлуатують.

Застосування проточної системи водопостачання у виробничих процесах потребує її у великій кількості, а якість очищення, перед тим як скинути

у водойми, досить низька. Споживачі забирають воду з джерел, використовують, а потім повертають, але вже в іншому місці, в меншій кількості й іншої якості.

Забруднення гідросфери – це надходження в гідросферу забруднювачів у кількостях і концентраціях, що здатні порушити нормальні умови середовища значних за розмірами водних об'єктів.

У 1998 році у водні об'єкти скинуто 3249,3 тис. т забруднюючих речовин. Якість питної води в системах централізованого водопостачання не відповідає нормам ДСТУ.

Основними джерелами забруднення наземних водойм є:

- атмосферні води, що містять у собі значну кількість забруднювачів, які вимивають із повітря. Дощові і талі води, особливо стоки з міських вулиць та промислових майданчиків, несуть у собі значну кількість нафтопродуктів, сміття, фенолів, кислот;
- міські стічні води, переважно побутові стоки;
- промислові стічні води, що утворюються під час виробничих процесів.

Джерела забруднення підземних вод можуть бути:

- місця зберігання і транспортування промислової продукції і відходів (наприклад, паливо в підземних резервуарах);
- місця накопичення комунальних і побутових відходів;
- забруднені поверхневі води.

Вчені наголошують, що техногенний вплив на довкілля, в тому числі підземні води, в Україні у 10–15 разів більший за сусідні країни. Окрім того, порушено сумірність живлення та видобування підземних вод. Це спричиняє утворення так званих “депресійних воронок”, зміну горизонту води, проникнення солоних вод і т. і. Якість підземних вод погіршується.

*Забруднення гідросфери* поділяють на хімічне, фізичне, біологічне і теплове.

Хімічне забруднення води відбувається внаслідок надходження у водойми із стічними водами різних шкідливих домішок. Кількість хімічних забруднювачів води постійно зростає, і вони згубно впливають на мікроорганізми, водорості, риб, а через них і на птахів, тварин, людей.

Значно забруднює водний басейн хімічними сполуками транспорт і разом з відпрацьованими газами транспортних засобів у повітря, а далі у воду надходить велика кількість шкідливих речовин:

- твердих (сажа, сполуки свинцю);
- газоподібних (оксид вуглецю, оксиди азоту, сполуки сірки, різні вуглеводні і альдегіди).

Фізичне забруднення води пов'язане із зміною її фізичних властивостей – прозорості, вмісту суспензій та інших нерозчинних домішок, радіоактивних речовин і температури.

Порушення прозорості води пригнічує процеси фотосинтезу водяних рослин. Особливу небезпеку становлять радіоактивні домішки. Дуже шкідливим є забруднення водою нафтою і нафтопродуктами. Окрім порушення фізичних і хімічних властивостей води, має місце осад нафти на дні водойми, а також утворення на поверхні плівки. Нафтова плівка погіршує газообмін води з атмосферним повітрям, порушує важливі для життя хіміко-біологічні процеси.

Біологічне забруднення полягає у надходженні до водойм із стічними водами різних видів мікроорганізмів, яких тут раніше не було. Особливої гостроти набувають біологічні забруднення у місцях масового відпочинку людей.

Теплове забруднення відбувається внаслідок спускання у водойми теплої води. Воно істотно змінює їх термічний і біологічний режими.

Гранично допустимі концентрації деяких шкідливих речовин у питних водах наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

#### Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у питних водах

Речовина	ГДК, мг/л
Бензин, гас	0,1
Бенз( $\alpha$ )пірен	0,000005
Нітрати (у перерахунку на $NO_3$ )	45,0
Нітрити (у перерахунку на $NO_2$ )	3,3
Свинець	0,03
Тетраетилсвинець	0,0002

Всі природні водойми мають здатність до самоочищення – це розбавлення стічних вод, випадання в осад твердих забруднювачів, хімічні й інші природні процеси, що приводять до видалення з водойми забруднювачів і сприяють повертанню води до її первинного стану. Проте здатність водойм до самоочищення має певні межі. Тому перед людством постає питання охорони водних ресурсів. Окрім наземних водойм, охорони потребують і підземні води, а також болота. Болота називають природними фільтрами, і тому необхідно зупинити надмірне осушення земель і ліквідацію боліт як регуляторів стоку і місць, де мешкають певні види живого.

Заходи щодо охорони поверхневих і підземних вод від забруднення теж мають декілька напрямів.

Організаційно-правові. Серед міжнародних документів важливим є Конвенція стосовно запобігання забруднень з суден (1973 і 1978 рр.).

Правові основи захисту водних ресурсів України закладені в названому Законі “Про охорону навколишнього середовища” та охороняють Водним кодексом України. Деякі нормативні документи чинні в Україні, що регламентують вимоги до охорони гідросфери.

Архітектурно-планувальні заходи. Йдеться про правильний вибір місць для розташування підприємств та будівництва відстійників, правильна організація місць для безпечного зберігання нафтопродуктів, особливо під землею.

Конструкторсько-технологічним та експлуатаційним заходам, що стосуються охорони довкілля від забруднення автотранспортними підприємствами, також буде приділена увага в спеціальному розділі.

Вважають, що забруднення водних екосистем є більшою небезпекою ніж забруднення атмосфери. Причини полягають у тому, що:

- процеси самоочищення відбуваються у водному середовищі набагато повільніше, ніж у повітряному;
- джерела забруднення водойм більш різноманітні;
- природні процеси, що відбуваються у воді і піддаються впливу забруднювачів, мають більшого значення для забезпечення життя на Землі, ніж атмосферні.

Тому, успішно вирішити проблему охорони водойм від забруднення можна шляхом екологічно безпечних, маловідходних і, де можливо, безвідходних, технологічних процесів.

## **2.4. Літосфера та її раціональне використання**

Ресурси літосфери можна розглядати у двох аспектах: родючість ґрунтів та наявність у ній і кількість корисних копалин.

*Ґрунти* – це поверхневий шар земної кори, що являється природним утворенням, яке сформувалось за сукупного впливу клімату, рослинності, умов рельєфу і життєдіяльності організмів. Ґрунти мають таку унікальну властивість, як родючість, що визначається наявністю гумусу – органічної речовини ґрунту, яка утворюється внаслідок того, що розкладаються рослинні і тваринні рештки та продукти життєдіяльності організмів. Гумус містить основні поживні

елементи для рослин. Але за останні 20 років кількість гумусу скоротилася більше ніж удвічі. Щоб забезпечити зростаюче населення продуктами харчування, треба не лише зберігати ґрунти, а і намагатися збільшувати їх родючість.

Земельні ресурси та ґрунти України. На початок 1999 року земельний фонд України становив 60,4 млн га. Розподіляється він таким чином: 72 % – сільськогосподарські угіддя; 17,2 % – лісові та інші насадження; 1,6 % – заболочені землі; 1,8 % – відкриті землі без рослинного покриву; 4,0 % – вкриті водою.

Великої шкоди земельним ресурсам завдало створення шістьох водосховищ, коли було затоплено 700 тис. га родючих земель (2,1 % загальної площі України). Ці водосховища стали накопичувачами промислового та побутового бруду.

Значні втрати земельних ресурсів пов'язані із промисловим, військовим та громадським будівництвом, прокладанням доріг (зокрема тимчасових), пересуванням транспортних засобів по бездоріжжю та пошуком і видобуванням корисних копалин. Видобування корисних копалин призвело до руйнації 226 тис. га господарських земель України (близько 1 % загальної площі країни).

Страшні наслідки має аварія на ЧАЕС. Не вдаючись до детального аналізу завданих збитків, можна відзначити, що після неї втрачено 4–5 % території країни.

Особливої турботи потребує ліс, як один з основних поглиначів вуглекислого газу і виробник кисню та постачальник людству цінних матеріалів – деревини, сировини для хімічної промисловості та продуктів харчування. На думку світових вчених країна може вважатися екологічно стабільною у разі, якщо ліси вкривають до 40 % території.

Ґрунти дуже чутливі до впливу антропогенних факторів і дуже часто піддаються руйнації, а як об'єкти охорони мають низку специфічних особливостей порівняно з іншими об'єктами довкілля. Ґрунти менш рухливі, ніж атмосферне повітря чи поверхневі води, тому вони не мають такого потужного фактору природного самоочищення як розбавлення або розсіювання, яке властиве іншим середовищам. Антропогенні забруднювачі, які потрапляють у ґрунт, накопичуються і впливають на рослинність, стан атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, а через них на тварин і здоров'я людини. За деякими оцінками частка металів, які осідають на ґрунт в 10 кілометровій зоні від промислових підприємств, становить 10–30 % їх викидів у атмосферу. Аналогічні оцінки для фтору і бенз(α)пірену становлять 5–15 %.

Але ґрунти активно очищують поверхневі стічні води, які крізь них фільтруються, а ґрунтово-рослинний покрив планети поглинає, утримує і перерозподіляє атмосферну вологу.

Гранично допустимі концентрації деяких шкідливих речовин, які привносять у ґрунт транспортні засоби, наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

**Гранично допустимі концентрації  
деяких шкідливих речовин у ґрунтах**

Речовина	ГДК, мг/кг
Бенз( $\alpha$ )пірен	0,02
Нітрати	130
Свинець	20,0
Сірка	160,0

*Надра.* Україна займає 0,4 % земної поверхні. При цьому вона володіє 5 % світових запасів корисних копалин. Мінерально-сировинні ресурси забезпечують 90 % продукції промисловості, 80 % будівельних матеріалів, їх частка у експортному потенціалі становить 30 %. Світові спеціалісти оцінюють мінеральні ресурси України вісьмома балами за десятибальною системою.

*Корисні копалини* – це мінеральні утворення в земній корі, властивості яких надають можливості ефективно використовувати їх у господарській діяльності. Їх поділяють на *тверді, рідкі і газоподібні*. Такі з них, як вугілля, нафта, природний газ, виділені в окрему групу *енергетичних ресурсів*.

Треба наголосити, що мінеральні ресурси відносяться до категорії невідновлювальних. Тому важливою проблемою є їх економне використання. Саме з огляду вирішення цієї проблеми постає питання про необхідність використання вторинних ресурсів, ресурсозбереження, перехід на безвідходні (маловідходні) технології та використання альтернативних матеріалів.

Ці обставини зумовили формування на території України потужного промислового комплексу і пов'язаних із ним техногенно-екологічних проблем:

- високий ступінь техногенних навантажень та забруднення довкілля;
- формування великих обсягів відходів;
- активація і розвиток небезпечних геологічних процесів (зокрема ерозія ґрунтів);

- порушення гідрогеологічних умов;
- втрата корисних копалин та некомплексне використання родовищ (коли бідну породу не розробляють, а залишають у так званих «хвостах», або видобувають на родовищі один компонент, а супутні, які теж корисні, але їх небагато, залишають).

Окрім видобування корисних копалин, надра потерпають від використання їх для зберігання рідких і газоподібних речовин у природних та штучних сховищах, створення підземних споруд (навіть цілих заводів), спорудження транспортних комунікацій (метро, тунелі, трубопроводи) та схоронення промислових токсичних і радіоактивних відходів.

**Організаційно-правові** заходи стосовно захисту ґрунтів та земельних ресурсів закладено в Земельному кодексі України та лісовому кодексі України. Регламентує взаємини суспільства і природи низка нормативних документів.

**Архітектурно-планувальні** заходи. Більшість міст мають так званий “зелений пояс” – газони, кущі, дерева, ставки, озера, хоча органічна продукція цього “зеленого поясу” не відіграє значної ролі у вирішенні проблем постачання енергією людей, що населяють місто. Проте вони мають естетичну цінність, а також пом’якшують коливання температури, зменшують забруднення і шумовий вплив є місцем, де мешкають птахи і дрібні тварини. Підтримування їх у належному стані потребує додаткових витрат з боку адміністрації міст, яких часто не вистачає, тому відношення жителів до цих осередків природи має бути дбайливим і бережливим.

**Експлуатаційні** заходи щодо реалізації екологічних вимог полягають у введенні заборони на закопування в землю відходів виробництва, розпилювання хімікатів, зливання у ґрунт залишків кислот, електролітів, нафтопродуктів та інших агресивних речовин. Хімікати й агресивні рідини мають знезаражуватись. Проблеми знезаражування потребують подальшого вирішення.

Захист земель уздовж транспортних магістралей здійснюють лісопосадками та рекультивацією земель. Рекультивацію земель включають в основні виробничі процеси. Усі порушені землі після закінчення робіт мають бути приведені до стану, придатного для використання їх у народному господарстві.



## ДІЧа<sup>2</sup>Е 3

### ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

---

---

#### 3.1. Загальні положення

Відповідно до *Хартії Міжнародної торгової палати про підприємницькі принципи сталого розвитку* необхідно постійно вимірювати екологічні характеристики, оцінювати відповідність їх встановленим вимогам і періодично надавати відповідну інформацію, що можливе лише за умови здійснення моніторингу довкілля.

Індустріалізація без адекватного регулювання природного середовища спричинила серйозне забруднення повітря, води і ґрунту.

Загальний ефект промислового, сільськогосподарського і побутового забруднення завдає серйозних збитків довкіллю і несприятливо впливає на загальне здоров'я населення взагалі. У багатьох містах рівні концентрації небезпечних газів і частинок в повітрі перевищують норми *Всесвітньої організації охорони здоров'я* (ВООЗ); рівень токсичних і небезпечних хімічних сполук у внутрішніх і прибережних водах значно вище припустимих стандартів, а ресурси підземних вод містять різні забруднювачі, що просочуються крізь забруднені поверхневі ґрунти.

Термін "моніторинг" має загальне використання, але переважно стосується процесу повторюваного спостереження і вимірювання одного чи більше параметрів якості довкілля для недопущення негативних його змін за певний період часу. У більш обмеженому контексті термін застосовують для опису систематичного безперервного здійснення відбору проб, вимірювання і аналізу фізичних, хімічних і біологічних параметрів різних фаз середовища типу повітря, води і ґрунту. Головна мета програм моніторингу – збереження якості різних компонентів навколишнього природного середовища.

Моніторинг як головний інструмент для якісного управління навколишнім природним середовищем проводять для одержання кількісної інформації щодо поточних рівнів вмісту шкідливих чи потенційно шкідливих параметрів якості повітря, води і ґрунту. Інформація, отримана завдяки моніторингу, надає можливості зробити оцінку збитків, завданих забрудненням води, повітря і ґрунту, підвищенням чи зниженням рівнів специфічного забруднення, параметрів і необхідних для виконання заходів управління. Такі оцінки здійснюють для порівняння отриманих даних зі стандартами, якими встановлені значення специфічних параметрів забруднення, і, у разі їх перевищення, інформування відповідних владних структур.

Термін “моніторинг довкілля” (моніторинг) набув поширення в міжнародній практиці після Конференції ООН стосовно середовища мешкання людини у 1972 р. і Генеральної асамблеї ООН, яка прийняла *Програму ООН з питань захисту довкілля (UNEP)*, затверджену відповідною резолюцією у 1972 р. В межах зазначеної Програми представлена концепція та програма моніторингу і оцінки стану довкілля, в яку входить чотири функціональних складових: оцінка і огляд, дослідження, моніторинг та інформаційний обмін.

Контролююча складова Програми – *Глобальна система моніторингу довкілля (GEMS)*, а основними завдання програми GEMS є: система попередження про вплив на здоров'я населення, оцінка глобального атмосферного забруднення і вплив його на клімат, оцінка тривалості та розподілу забруднень у біологічних системах, особливо ланцюжка живлення, оцінка критичних проблем сільськогосподарства і землі, використання води, оцінка впливу негативних факторів забруднення на земні екосистеми, оцінка забруднення океану і його впливу на морські екосистеми, поліпшення міжнародного моніторингу для прогнозування стихійних явищ і реалізації ефективної системи попередження.

Основною метою Програми є створення і удосконалення системи попередження про шкідливий вплив забруднювачів на повітря, воду, ґрунт, а також здоров'я і добробут населення. Призначенням моніторингу також є ініціювання заходів управління для захисту, відновлення і збереження якості повітря, води та ґрунту; для управління відповідним використанням токсичних хімічних речовин, відстеження походження, зберігання, транспортування, утилізації і подальшого перерозподілу небезпечних відходів тощо.

На рис. 3.1 наведена система міжнародних екологічних програм, а у табл. 3.1 – список забруднювачів, які контролюють GEMS.



Рис. 3.1. Система міжнародних екологічних програм

Таблиця 3.1

**Список забруднювачів, які контролюють GEMS**

Основні забруднювачі	Середовище
Диоксид сірки і сульфати	ґрунт
Оксид вуглецю	Повітря
Вуглекислий газ	Повітря, океани
Оксиди азоту	Повітря, вода
Озон, фотохімічні оксиданти і реактивні вуглеводні	Повітря
Ртуть, свинець, кадмій	Вода, ґрунт, продовольство, біота
Галоїдована органіка (ДДТ, поліхлорованні біфеніли, діелдрін тощо)	Вода, ґрунт, продовольство, біота
Нафтовуглеводні	Вода, ґрунт
Нітрати, нітрити, нітрозаміни	Вода, продовольство
Мікотоксини (альфа-токсини)	Продовольство
Азбест	Повітря
Деякі мікробні забруднення	Вода, продовольство
Деякі індикатори води, біологічне споживання кисню, розчинений кисень, РН, бактерії кишкової групи	Вода, продовольство
Деякі індикатори солоності та кислотності/лужності	Вода, ґрунт

Важливість проблеми моніторингу підкреслює те, що цим питанням серйозно опікується міжнародна *Організація економічного співробітництва та розвитку* (ОЕСД), яка видала ряд документів з питань моніторингу і фінансує проведення робіт цього напрямку. Одна з монографій, виданих ОЕСД, повністю присвячена проблемам моніторингу, і в ній висвітлюють завдання моніторингу, питання його застосування, законодавчі та фінансові питання. Зазначають, що *моніторинг є основою екологічної політики*, а його основні етапи – це вимірювання, обробка, аналіз та інтерпретація даних, їх розповсюдження.

Дійове екологічне управління не можливе без спирання на надійну технічну та наукову базу, важливим елементом якої є система екологічного моніторингу. В країнах, що входять до ОЕСД, немає єдиної схеми будови та фінансування такої системи. Звичайно, вона поєднує декілька підсистем різного рівня: загальнодержавного моніторингу, міждержавного (регіонального) та локального моніторингу. Певна частина станцій моніторингу належить приватним природокористувачам, і, як правило, нема єдиного державного органу, який би виконував весь обсяг робіт з моніторингу.

У деяких країнах ОЕСД спостерігається тенденція до зменшення екстенсивного моніторингу і заміна його моделюванням. Екологічні дослідження все частіше передують конкретним діям, обґрунтовують вибір напрямків екологічної політики і встановлюють екологічні пріоритети, на відміну від минулої практики, коли вони йшли слідом за вже прийнятими політичними рішеннями. Тому необхідно уникати надмірного моніторингу і трудомістких досліджень і віддавати перевагу швидким методам оцінки, моделюванню та інвентаризації існуючої технології. Розвиток мережі моніторингу повинен бути поступовим із тим, щоб обслуговувати діяльність, а не замінювати її. Необхідно збирати лише ті дані, які можна проаналізувати, тлумачити та використати з тим, щоб покращити показники екологічного управління.

В Європейському Союзі (ЄС) чинні більше п'ятидесяти міжнародних угод і Директив ЄС, які мають безпосереднє відношення до питань моніторингу. Директиви ЄС передбачають реалізацію програм моніторингу або як постійного моніторингу, або як попередніх досліджень і оцінок. Хоча низка рішень і Директив ЄС регламентують структуру і порядок надання моніторингової інформації та необхідний формат звітів (77/795/ЕЕС, 86/574/ЕЕС, 92/446/ЕЕС, 92/676/ЕЕС, 97/101/ЕЕС, 81/462/ЕЕС, 96/61/ЕС, 96/62/ЕС), проте гармонізації питань моніторингу у країнах ЄС перешкоджає те, що різні Директиви ЄС встановлюють різні методи відбору проб, аналізу

даних і підготовки звітів, містять суперечливі вимоги або нечітке формулювання вимог до моніторингу. Зазначене не дозволяє здійснювати оперативний і достовірний обмін інформацією, удосконалити системи обміну інформацією.

Моніторинг є одним з основних елементів системи управління якістю довкілля. Міжнародні стандарти серії ISO 14000 “Системи управління навколишнім середовищем (СУНС)” – ISO 14001-97 і ISO 14004-97 встановлюють вимоги щодо запровадження організаціями методик регулярного моніторингу та вимірювання основних параметрів процесів і робіт, які можуть мати суттєвий вплив на довкілля, методик періодичного оцінювання відповідності екологічних характеристик чинним законодавчим та нормативним актам щодо довкілля. ISO 14001-97 встановлюють п’ять основних принципів та елементів СУНС, одним із яких є “Вимірювання і оцінювання”, і зазначають, що вимірювання, моніторинг та оцінювання (постійна діяльність) є головними функціями СУНС.

На жаль, сучасний моніторинг часто не завершують необхідним аналізом, з якого можна побачити негативні тенденції або їх наслідки, зробити конкретні пропозиції для владних структур. Сам процес моніторингу часто відірваний від аналізу та прогнозу, а також від об’рунтованих пропозицій, тому його результати не можуть слугувати справжньою базою для сталого розвитку. Розробка наукових основ і принципів системного моніторингу довкілля є важливим стартовим положенням сталого розвитку. Результати цієї роботи покликані визначити ступінь антропогенної ураженості екологічних систем і механізмів забезпечення природних основ життя, науково об’рунтувати критерії та перспективні темпи сталого розвитку.

Як показують результати наукових досліджень, єдиним способом забезпечення зворотного зв’язку в геосоціосистемах є моніторинг, тобто постійне стеження за структурою та роботою керованої системи, її реакцією на управлінські (оптимізаційні) впливи, а також за загальною ефективністю оптимізаційного процесу, спрямованого на досягнення структурно-функціональних параметрів еталонної системи. Під останньою, в аспекті концепції сталого розвитку слід розуміти саме таку за побудовою і функціонуванням запроєктовану геосоціосистему, яка відповідає основним вимогам сталого розвитку – сприятливого довкілля, здорового життя та відповідної економіки.

На жаль, повноцінного моніторингу немає в більшості країн світу, у зв’язку з чим неможливо узагальнити моніторингову інформацію для потреб керування екологічними процесами в біосфері чи со-

ціально-економічними – в соціосфері. Система соціосферного моніторингу чекає свого опрацювання і невідкладної практичної реалізації. Такий моніторинг повинен мати ефективну мережу об'єктних, фонових і наукових станцій, розбудовану систему локальних і регіональних центрів для накопичення, оброблення і передачі інформації до національного центру моніторингу.

Важливою вимогою є також наявність стандартизованого моніторингового обладнання, обов'язкових моніторингових показників та єдиних програм і методик збирання і обробки інформації, моделювання і прогнозування екологічних процесів. Комплексний моніторинг у будь-якій саморегульованій системі слід трактувати як її “нервову систему”, без якої система не може успішно функціонувати.

Ще однією важливою проблемою є наявність у саморегульованій системі розумного споживача моніторингової інформації – розумного регулятора, який є обов'язковим і незамінним компонентом саморегульованої геосоціальної системи, мусить мати знання і досвід роботи в її функціональній структурі, досконало знати шляхи та способи її наближення до еталонного (запланованого) стану, тобто методи забезпечення її сталого розвитку в мінливих умовах навколишнього природного середовища.

Еталонна система повинна мати глибоке наукове об'рунтування і проектуватися з урахуванням конкретних природно-історичних і соціально-економічних умов (екологічна ситуація, ресурси, демографічні особливості, рівень економічного розвитку, технічна оснащеність і технологічне забезпечення, ментальність, освіта, політична атмосфера тощо). За своїми структурно-функціональними показниками така система має максимально відповідати вимогам сталого розвитку.

Важливе питання опрацювання системи комплексного глобального моніторингу і в його складі підсистем національного, регіонального та об'єктного моніторингу, науково об'рунтованих еталонних систем для кожного рівня одиниць геосоціальної організації і технологічної та технічної бази для ведення зазначеного моніторингу. Необхідне створення умов для поступового переходу до ефективного управління соціосферними процесами.

У 1999 р. створена Європейська економічна комісія (ЄЕК) ООН Спеціальна робоча група з моніторингу довкілля. У довгостроковій перспективі робоча група має стати інструментом для підготовки відповідних рекомендацій і розробки пропозицій щодо планів спільних дій, укріплення міжнародних ініціатив співробітництва у галузі моніторингу довкілля тощо. Визначені основні напрямки діяль-

ності робочої групи і створено групи експертів з питань моніторингу атмосферного повітря, відходів у секторах транспорту та промисловості.

В Україні існує розвинута законодавча база для проведення моніторингу, що підкреслює важливість цього для країни. Так, питання моніторингу регламентують у майже двох десятках законів України, у розвиток яких прийнято три спеціальні постанови Кабінету міністрів України. Стаття 22 Закону України “Про охорону навколишнього природного середовища” регламентує основні положення щодо моніторингу довкілля у країні.

Постановою Кабінету міністрів України від 30.03.98 р. № 391 затверджене *Положення про державну систему моніторингу довкілля*, яке визначає порядок створення та функціонування Державної системи моніторингу довкілля (ДСМД).

*ДСМД є системою* спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. ДСМД – це складова частина національної інформаційної інфраструктури, яка є відкритою інформаційною системою, пріоритетами функціонування якої є захист життєво важливих екологічних інтересів людини і суспільства, збереження природних екосистем, відвернення кризових змін екологічного стану довкілля та запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям.

ДСМД базується на використанні існуючих організаційних структур суб’єктів моніторингу і функціонує на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об’єднання складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи. Організаційну інтеграцію суб’єктів системи моніторингу на всіх рівнях здійснюють органи Мінекоресурсів на основі загальнодержавної і регіональних (місцевих) програм моніторингу, що складаються з розроблених суб’єктами системи моніторингу програм відповідних рівнів, укладених між усіма суб’єктами системи моніторингу угод про спільну діяльність під час здійснення моніторингу на відповідному рівні.

*Створення і функціонування ДСМД має на меті* інтеграцію екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території, і заснована на принципах узгодженості нормативно-правового та організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення її складових частин, систематичності спостережень за станом довкілля та техногенни-



ми об'єктами, що впливають на нього, своєчасності отримання, комплексності оброблення та використання екологічної інформації, що надходить і зберігається в ДСМД, об'єктивності первинної, аналітичної і прогнозної екологічної інформації та оперативності її розповсюдження.

*ДСМД спрямована* на підвищення рівня вивчення і знань про екологічний стан довкілля, оперативності та якості інформаційного обслуговування користувачів на всіх рівнях, якості об'рунтування природоохоронних заходів та ефективності їх здійснення і сприяння розвитку міжнародного співробітництва у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки. Інформацію, отриману в ДСМД, використовують для прийняття рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки органами державної влади та органами місцевого самоврядування і надають їм відповідно до затверджених регламентів інформаційного обслуговування користувачів ДСМД та її складових частин.

*Моніторинг* здійснюють суб'єкти моніторингу за загальнодержавною і регіональними (місцевими) програмами реалізації відповідних природоохоронних заходів. До суб'єктів моніторингу довкілля відносять Мінекоресурсів, Міністерство надзвичайних ситуацій (МНС), МОЗ, Мінагрополітики, Держкомлісгосп, Держводгосп, Держкомзем, Держбуд. Фінансування робіт зі створення і функціонування ДСМД та її складових частин здійснюють відповідно до порядку фінансування природоохоронних заходів за рахунок коштів, передбачених у державному та місцевих бюджетах згідно із законодавством. Покриття певної частини витрат на створення та функціонування складових частин і компонентів системи моніторингу може здійснюватися за рахунок інноваційних фондів у межах коштів, передбачених на природоохоронні заходи, міжнародних грантів та інших джерел фінансування.

*Суб'єкти ДСМД* забезпечують вдосконалення підпорядкованих їм мереж спостережень за станом довкілля, уніфікацію методик спостережень і лабораторних аналізів, приладів і систем контролю, створення банків даних для їх багатоцільового колективного використання з допомогою єдиної комп'ютерної мережі, яка забезпечує автономне і спільне функціонування складових цієї системи й взаємозв'язок з іншими інформаційними системами, які діють в Україні та за кордоном.

*Основними завданнями суб'єктів ДСМД* є довгострокові систематичні спостереження за станом довкілля, аналіз екологічного стану довкілля та прогнозування його змін, інформаційно-аналітична



підтримка прийняття рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки, відповідне інформаційне обслуговування. В ДСМД встановлюють спеціальні регламенти спостереження за екологічно небезпечними об'єктами, критерії визначення і втручання у разі виникнення або загрози виникнення надзвичайних екологічних ситуацій.

*Взаємини суб'єктів системи моніторингу* ґрунтуються на взаємній інформаційній підтримці рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки, координації дій під час планування, організації та проведення спільних заходів з екологічного моніторингу, ефективному використанні наявних організаційних структур, засобів спостережень за об'єктами довкілля та комп'ютеризації процесів діяльності, сприянні найбільш ефективному розв'язанню спільних завдань моніторингу та екологічної безпеки, відповідальності за повноту, своєчасності і достовірності переданої інформації, колективному використанні інформаційних ресурсів і комунікаційних засобів та інформаційному обміні.

*Суб'єкти системи моніторингу*, місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування, підприємства, установи й організації повинні здійснювати розроблення і узгодження з органами Мінекоресурсів та МНС планів здійснення заходів з метою спостереження за станом екологічно небезпечних об'єктів, запобігання екологічно небезпечній виробничій, господарській та іншій діяльності, захист зареєстрованих у ДСМД постів (пунктів, станцій) спостережень за об'єктами довкілля від пошкодження та несанкціонованого перенесення, виділення в установленому порядку земельних ділянок під влаштування нових постів спостережень на підставі затверджених програм удосконалення і розвитку складових частин ДСМД.

Підприємства, установи і організації, діяльність яких призводить чи може призвести до погіршення стану довкілля, зобов'язані здійснювати екологічний контроль за виробничими процесами та станом промислових зон, збирати, зберігати й безоплатно надавати дані та узагальнену інформацію для її комплексної обробки.

Попередження про виникнення або загрозу виникнення небезпечних природних явищ (метеорологічні, гідрологічні та геліогеофізичні явища на суші та на морі, екзогенні та ендегенні геологічні процеси), оцінювання їх розвитку і можливих наслідків покладають на Мінекоресурсів. Оцінювання впливу забруднення довкілля на стан здоров'я населення покладають на МОЗ та його органи на місцях, які повинні своєчасно інформувати органи державної влади та орга-

ни місцевого самоврядування про негативні тенденції або кризові зміни стану здоров'я населення внаслідок погіршення екологічної обстановки.

Національне космічне агентство України (НКАУ) надає усім заінтересованим суб'єктам системи моніторингу архівну та поточну інформацію з дистанційного зондування Землі, а також методичну і технічну допомогу користувачам щодо інтерпретації та використання аерокосмічних даних. Органи Держводгоспу надають усім заінтересованим суб'єктам системи моніторингу інформацію про державний облік використання вод і скидання стічних вод водокористувачами; органи Мінагрополітики – про фізичні, геохімічні та біологічні зміни якості ґрунтів сільськогосподарського призначення; органи Держкомзему – про стан земельного фонду, структуру землекористування, трансформацію земель, заходи щодо запобігання негативним процесам і ліквідації їх наслідків.

*Методологічне забезпечення.* Об'єднання складових частин і компонентів системи моніторингу покладають на Мінекоресурсів із залученням суб'єктів цієї системи та інших установ та організацій і здійснюють на основі єдиної науково-методичної бази щодо вимірювання параметрів і визначення показників стану довкілля, живих організмів і джерел антропогенного впливу на них, впровадження уніфікованих методів аналізу і прогнозування властивостей довкілля, комп'ютеризації процесів діяльності та інформаційної комунікації, загальних правил створення і ведення розподілених баз та банків даних і знань, картування і картографування екологічної інформації, стандартних технологій з використанням географічних інформаційних систем.

*Метрологічне забезпечення.* Об'єднання складових частин і компонентів системи моніторингу покладають на Мінекоресурсів із залученням суб'єктів моніторингу та органів Держстандарту і здійснюють на основі єдиної науково-технічної політики щодо стандартизації, метрології та сертифікації вимірювального, комп'ютерного і комунікаційного обладнання, єдиної нормативно-методичної бази, що забезпечує достовірність і порівнюваність вимірювань і результатів оброблення екологічної інформації в усіх складових частинах цієї системи. Щорічно результати комплексного моніторингу в Україні подають у національних доповідях про стан навколишнього природного середовища (стан атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів, відходів).

На рис. 3.2 наведена узагальнена схема оцінювання якості довкілля моніторингом.

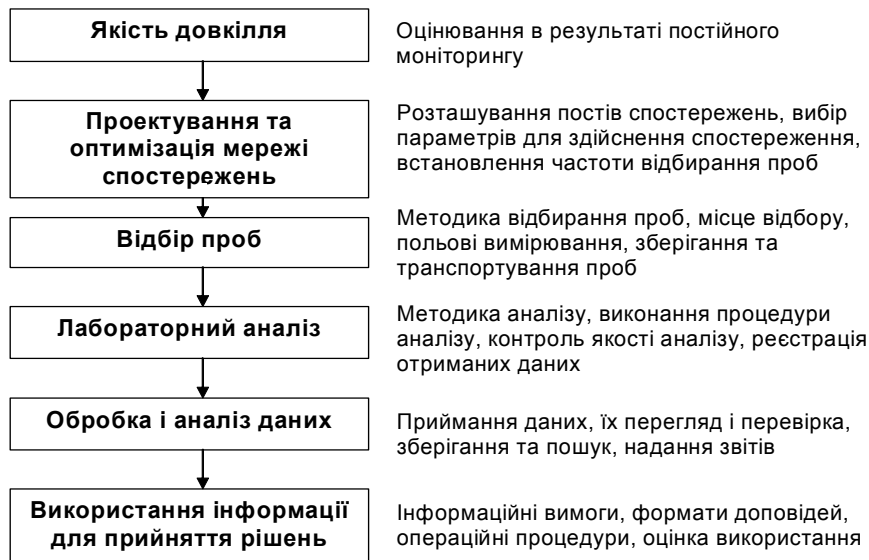


Рис. 3.2. Узагальнена схема оцінки якості довкілля

На рис 3.3 наведено основні функціональні елементи забезпечення моніторингу довкілля.

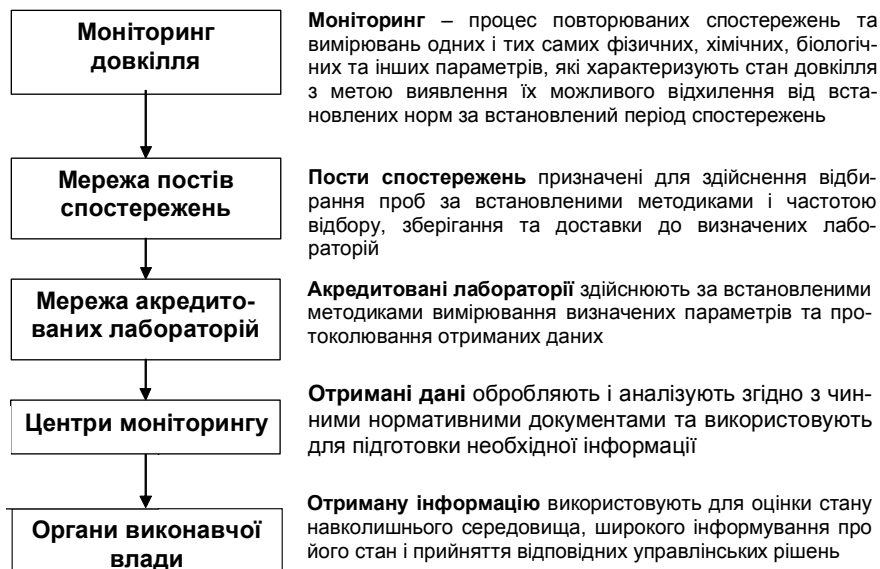


Рис. 3.3. Основні елементи забезпечення моніторингу довкілля

Функціональні елементи системи моніторингу довкілля об'єднані у комплекс, головними завданнями якої є планування, реалізація і функціонування. Проектування, фактично, включає цілий діапазон дій з вибору місць розташування станцій мережі моніторингу, визначення потоку і параметрів оцінки викидів, підбору апаратури, відбору проб і дослідження, обробки даних і ведення документації, проведення науково-дослідних робіт, навчання персоналу, здійснення регіонального і міжнародного співробітництва.

Планування включає економічне проектування і аналіз (розробка варіантів рішень, структурні та неструктурні заходи для виконання тощо); реалізація охоплює проектування і конструювання необхідних технічних засобів, включаючи мережі для моніторингу; затвердження стандартів видиків, встановлення процедур перевірки тощо; функціонування включає відкриття або закриття постів (пунктів), здійснення перевірок, ремонт і супровід. Існує багато аналітичних методів, доступних для точного визначення необхідних параметрів якості води, повітря і ґрунту. До найважливіших типів аналітичних методів відносимо: фотометричний; атомна абсорбція; спектрометрія; застосування індуктивно-плазмових систем і подібних аналітичних систем; потенціометричне титрування; селективні іонні електроди; газова хроматографія і газова мас-спектрометрія; іонна хроматографія тощо.

Важливими параметрами, які потрібно враховувати в аналітичних методах точної оцінки різних параметрів якості довкілля, є: вибір необхідних методів випробувань, методи оцінки аналітичних результатів, перехресна перевірка аналітичних даних та необхідна інтерпретація результатів. Вибір вимірюваних параметрів підбирають згідно з вимогами до системи, а повний аналіз здійснюють там, де необхідна повна оцінка різних параметрів.

Після вибору вимірюваних параметрів повинні бути вибрані відповідні аналітичні методи з урахуванням необхідної чутливості, точності, можливих впливів, швидкодії і вартості аналізу. Методи з високою точністю мають використовуватися лише там, де це дійсно необхідно. Важливим є перший крок у кожному аналізі: проба повинна бути відповідно позначена, аналітик має точно знати тип відібраної проби, проведено підготовку і умови відбору проб. Інший важливий параметр аналітичного методу – частота тестування.

Оцінка отриманих аналітичних результатів – важлива складова кожного аналітичного методу. Точно так, як невірне здійснення відбору проб може знецінити весь аналіз в цілому, неправильна оцінка отриманих результатів може призвести до неправильних висновків за результатами аналізу. Результати повинні бути подані у формі,

яка дозволяє їх порівняння. Будь-який результат аналізу повинен бути всебічно перевірений з виправленням можливих помилок. Помилки, властивих аналітичним процедурам, можна уникнути, здійснюючи повторні проби, однак можуть бути інші помилки, наприклад, у маркуванні, у помилковому записі визначеної кількості тощо. Вони іноді зводять результати аналізу до нуля, тому процедури їх виявлення мають важливе значення.

*Для ефективного управління якістю моніторингу необхідно:* адекватно навчений і досвідчений персонал; хороші матеріальні засоби і устаткування; атестовані стандартні зразки; регулярне обслуговування і калібрування використовуваних приладів; розумне управління і використання повторних аналізів. У той час як усі вони важливі, жоден сам по собі не гарантує надійність перевірки отриманих даних.

*Програма управління включає чотири основні елементи:* наявність надійної і точної апаратури для здійснення відбору проб, використання стандартизованих аналітичних методів, проведення звичайного аналізу відбору проб принаймні один раз у день, при якому здійснюють аналіз невідомих проб, підтвердження здатності лабораторії отримувати необхідні результати з необхідністю аналізу відібраних проб один чи два рази на рік.

Похибки можуть подаватись як середньоквадратичне відхилення. Метод, з одного боку, може мати дуже високу точність, але враховувати лише частину обумовлених складових, а з іншого – може бути точний, але його точність втрачає через низьку інструментальну чутливість, зміну ступеня біологічного впливу чи інші фактори. Звичайно, можливо визначення похибки методу випробувань із застосуванням стандартних зразків.

Для отримання достовірних результатів необхідна перевірка первинних даних, які повинні бути правильно оброблені та збережені у відповідній документації. Це допоможе зробити вірний вибір місця відбору проб для гарантування достовірного вимірювання параметрів повітря, води, ґрунту, а відповідне документування даних допомагає у створенні необхідної статистики для оцінки результатів. Зараз для вивчення забруднення довкілля широко застосовують комп'ютерні системи.

## ДІЇЩА 4

### ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

---

#### 4.1. Автомобільний транспорт – одне з основних штучних джерел забруднення довкілля

Основними штучними джерелами забруднення довкілля, що виникли в результаті діяльності людини, є об'єкти транспорту, промисловості, енергетики, сільського та комунального господарств. Переважаючим серед цих джерел є саме транспорт. До того ж вплив транспортного засобу необхідно відслідковувати впродовж усього життєвого циклу: створення (добування і переробка сировини, виробництво конструкційних, експлуатаційних, дорожньо-будівельних матеріалів, транспортування, зберігання); виробництво; використання; відновлення роботоздатності та утилізація.

Вплив транспорту на екосистеми полягає у:

– споживанні природних ресурсів – атмосферного повітря, яке необхідне для перебігу робочих процесів в ДВЗ транспортних засобів, нафтопродуктів і природного газу, які є паливом для ДВС, води для систем охолодження ДВЗ і мийки транспортних засобів, виробничих і побутових потреб підприємств транспорту, земельних ресурсів, відчужених під будівництво автомобільних доріг і залізниць, аеродромів, трубопроводів, річкових і морських портів і інших об'єктів інфраструктури транспорту;

– забрудненні атмосфери, водних об'єктів і земель, зміні хімічного складу ґрунтів і мікрофлори, утворенні виробничих відходів, шлаків, замазучування ґрунтів, котельних шлаків, золи і сміття. Забруднюючі речовини, окрім шкідливого впливу на живу природу, негативно впливають на створені людиною системи – особливо на будівельні матеріали, історичні архітектурні і скульптурні пам'ятники та інші витвори мистецтва, викликають корозію металів, псування шкіряних і текстильних виробів.

- виділенні теплоти в довкілля під час роботи ДВЗ і установок, в яких спалюють паливо в транспортних виробництвах;
- створенні високих рівнів шуму і вібрації та електромагнітних випробувань;
- можливості активації несприятливих природних процесів, таких як водна ерозія, заболочення місцевості, утворення сільових потоків, зсувів і обвалів;
- травмуванні та загибелі людей, тварин, нанесення великих матеріальних збитків внаслідок аварій і катастроф;
- порушенні ґрунтово-рослинного покриву і зменшенні врожайності сільськогосподарських культур.

В таблиці 4.1 наведена класифікація видів негативного впливу на компоненти біосфери різних видів транспорту.

Таблиця 4.1

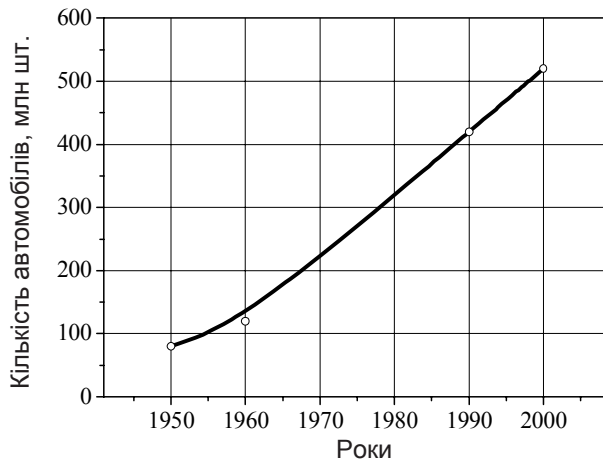
#### Класифікація основних видів впливу на компоненти біосфери різних видів транспорту

<b>Об'єкт впливу</b>				
Водойми	Ґрунт	Повітря	Флора і фауна	Людина
<b>Основні види впливу</b>				
<i>Автомобільний транспорт</i>				
Мінералізація, засолення, нафтопродукти	Забруднення свинцем, органічними мастилами, розчинниками; засолення	Викиди $CO$ , $C_mH_n$ , $NO_x$ , $C$ , $CO_2$	Порушення ґрунтового покриву, забруднення придорожньої смуги	Захворювання органів дихання, онкологічні захворювання, зменшення тривалості життя
<i>Залізничний транспорт</i>				
Нафтопродукти, смоли, феноли, іони, важкі метали	Неочищені стоки, розчинники	Викиди $CO$ , $C_mH_n$ , $NO_x$ , $C$ , $SO_2$ , золи, пилу	Знищення лісових та сільськогосподарських угідь, зміна шляхів міграції тварин	Хронічні захворювання, професійні захворювання, зменшення професійного довголіття
<i>Водний транспорт</i>				
Нафтовмісні стоки, тверді та харчові відходи, господарчо-побутові стоки	Забруднення прибережної смуги нафтою та органічними відходами	Викиди $CO$ , $C_mH_n$ , $NO_x$ , $C$ , $SO_2$ .	Зниження біопродуктивності морів та річок	Професійні захворювання

<i>Повітряний транспорт</i>				
Нафтопродукти	Органічні та неорганічні викиди поблизу аеродромів	Викиди $CO$ , $C_mH_n$ , $NO_x$ , $C$ , $SO_2$ , твердих частинок	Зменшення чисельності фауни	Захворювання органів слуху, професійні захворювання
<i>Трубопровідний транспорт</i>				
Забруднення органічними речовинами	Забруднення речовинами, що перекачують, та продуктами корозії	Газоподібні органічні викиди	Руйнація геобіоценози, переривання шляхів міграції тварин	Професійні захворювання через шумове навантаження, отруєння речовинами, що перекачують

Автомобільний транспорт є однією з галузей, що у значній мірі визначає розвиток промисловості і сільського господарства будь-якої країни. Тому світовий парк транспортних засобів безперервно зростає. Згідно з даними різних джерел у період з 1950 по 1990 роки кількість автомобілів у світі зросла в 7,5–8,5 разів (рис. 4.1.) і з 2000 року перевищує 520 млн одиниць. Щорічний випуск автомобілів у світі становить близько 50 млн. одиниць.

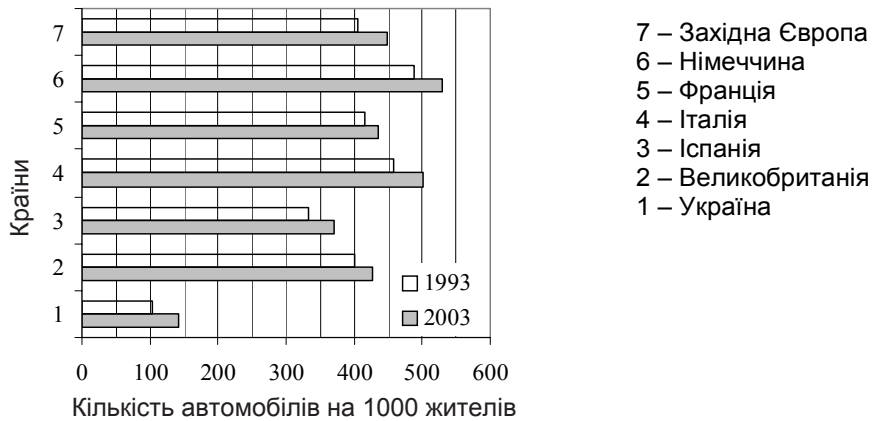
Виходячи з кількості автомобілів на тисячу жителів, це значно менше порівняно з розвиненими країнами. Так, в Україні ця величина наближається до 140 одиниць, а в США вона сягає 700 одиниць.



Значно вища вона і для передових країн Західної Європи, як це видно з діаграми (рис. 4.2), де показана кількість автомобілів на тисячу жителів в країнах Західної Європи, як в цілому, так і в кожній країні, в 1993 та 2003 роках.

**Рис. 4.1.** Динаміка зростання світового автомобільного парку





**Рис. 4.2.** Кількість автомобілів на тисячу жителів у країнах Західної Європи

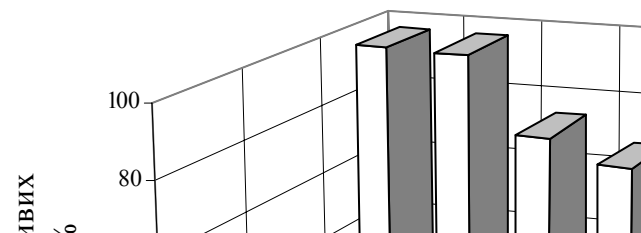
Значну роль відіграє автомобільний транспорт в економіці України. Автомобільним транспортом перевозять понад 60 % пасажирів і більше половини обсягу вантажів.

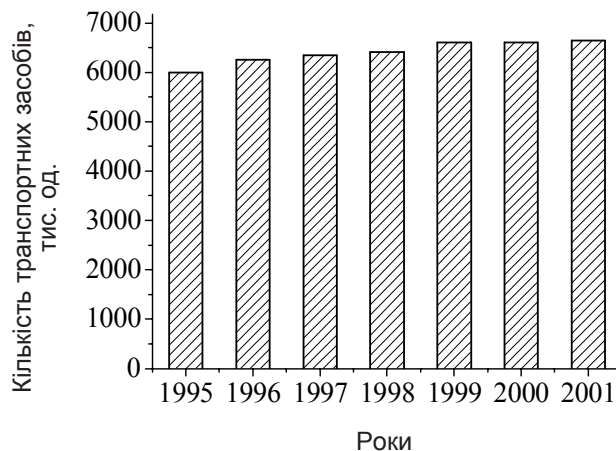
За даними статистичної звітності автомобільний парк України з роками теж зростає (рис. 4.3), і за типами транспортних засобів його склад розподілено таким чином, як показано в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

**Розподіл автомобільного парку України за типами транспортних засобів**

	Роки						
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Вантажні	1109,3	1103,9	1136,0	1144,1	1152,3	1128,2	1118,7
Автобуси	136,2	134,4	136,9	141,8	144,4	140,2	143,5
Легкові	4468,7	4736,0	4801,9	4877,8	5068,6	5109,6	5168,9
Спеціальні	281,9	278,7	264,4	249,5	242,5	225,1	207,6
Разом	5996,1	6253,0	6339,2	6413,2	6607,8	6603,1	6638,7





**Рис. 4.3.** Автомобільний парк України

У 2003 році в Україні кількість транспортних засобів зросла до 6816,4 тис. одиниць.

Процентний розподіл автомобільного парку за типами такий:

- вантажні автомобілі – 13,83 %;
- пасажирські автобуси – 2,58 %;
- легкові автомобілі – 81,85 %;
- спеціальні – 1,74 %.

Забруднення повітря транспортними засобами пов'язано із споживанням енергії видобувних палив. Згідно з європейською статистикою за 1988 рік енерговитрати транспорту сягали 29,8 % загального споживання енергії в Європейському Союзі (ЄС). Це сумірно промислового споживання енергії, що дорівнює третині загального споживання енергії в ЄС.

У транспортному секторі ЄС за розподілом споживання палива 84,4 % припадає на автотранспорт, 11,1 % – на авіацію, 2,5 % – на залізницю і 2 % – на річковий транспорт.

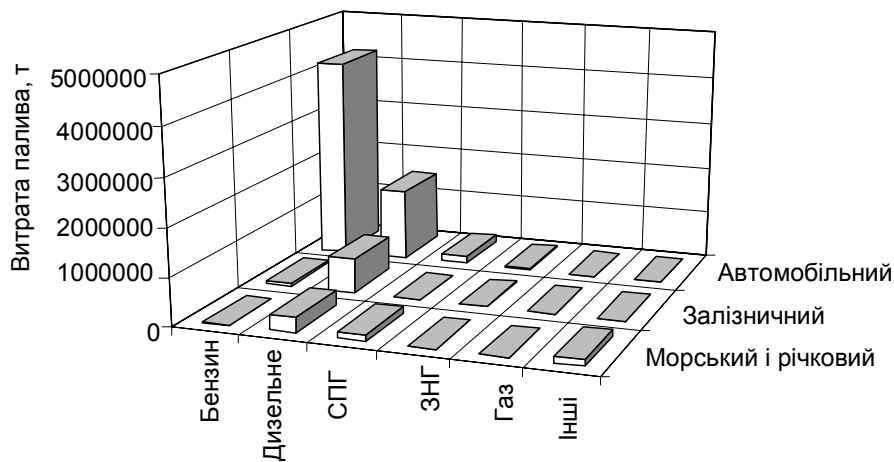
Розподіл споживання різних видів палива галузями транспорту України в 1995 році показав, що основним видом палива є бензин.

Найбільш енергоємним видом транспорту є автомобільний транспорт, який споживає близько 83 % загальної кількості моторного палива, залізничний транспорт споживає 10,5 %, річковий і морський транспорт – 6,5 % . Розподіл споживання різних видів палива галузями транспорту в 1995 році наведено в таблиці 4.3. та проілюстровано діаграмою на рис. 4.4.

Таблиця 4.3

**Розподіл споживання моторного палива в Україні  
галузям транспорту**

Види палива, т	Галузь транспорту			Разом	
	Автомобільний	Залізничний	Морський і річковий		
Бензин	4236175	39851	9915	4285941	
Дизельне паливо	1490000	713600	323275	2523875	
Зріджений нафтовий газ (ЗНГ)	38777	2741	–	41518	
Стиснений природний газ (СПГ)	161498	2023	12571	176092	
Керосин	171	1021	161	1353	
Інші види палива	174		128747	128921	
<b>Сума</b>	т	5926795	756236	474669	7157700
	%	83	10,5	6,5	100



**Рис. 4.4.** Розподіл споживання різних видів палива галузями транспорту

У 2003 році автомобільним транспортом в Україні було спожито 1473224,4 тис. л бензину, 1392653,5 тис. л дизельного палива, 55138,9 тис. л. ЗНГ та 218105,1 тис. л. СПГ.

Розрахунки шкідливих викидів різними галузями транспорту України показують, що автомобільний транспорт є основним з огляду забруднення навколишнього середовища і набагато перевищує викиди інших видів транспорту. Розподіл викидів основних шкідливих речовин, які містяться у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згорання, між основними видами транспорту України в 1995 р. наведено в табл. 4.4 та рис. 4.5.

Таблиця 4.4

**Викиди основних шкідливих речовин різними галузями транспорту України**

Викиди ШР, т	Галузь транспорту			Разом	
	Автомобільний	Залізничний	Морський і річковий		
CO	т	1452477	33578	15453	1501508
	%	96,7	2,2	1,1	100
C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	т	273644	6998	3838	284480
	%	96,2	2,46	1,34	100
NO <sub>x</sub>	т	130125	16233	30429	176787
	%	73,6	9,2	17,2	100
C	т	10325	2735	2424	15184
	%	66,7	17,7	15,6	100
SO <sub>2</sub>	т	10002	3578	2039	15619
	%	64	22,9	13,1	100
Pb	т	296	2,8	0,7	299,5
	%	98,8	0,9	0,3	100

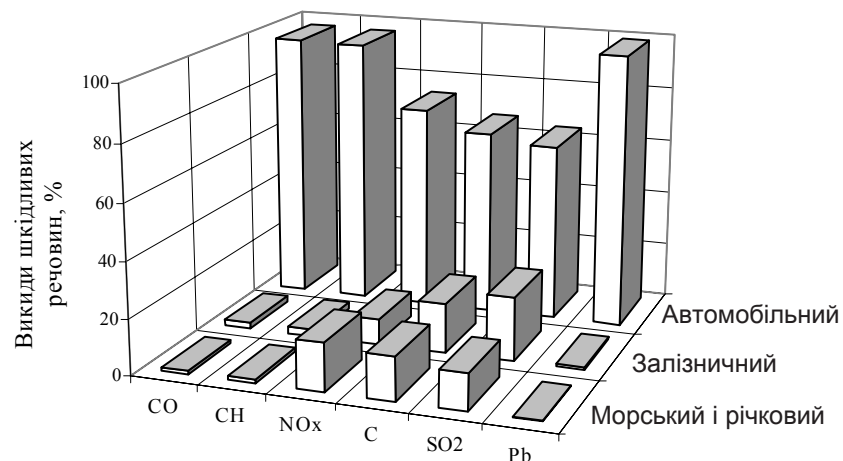


Рис. 4.5. Розподіл шкідливих викидів різними видами транспорту України

Якщо оцінювати внесок автомобільного транспорту в загальне забруднення атмосферного повітря в Україні, то його частка за оксидом вуглецю становитиме 49 %, за вуглеводнями – 32 %, за оксидами азоту – 20 %. Разом з тим в багатьох містах України викиди автотранспорту становлять від 60 до 90 % загальної кількості викидів.

Тому в Україні, виходячи з досвіду інших країн, також слід очікувати в недалекому майбутньому різкого зростання парку автотранспортних засобів. Для того, щоб цей процес не призвів до критичної ситуації, з огляду безпеки руху, забруднення навколишнього середовища та витрат палива, до нього потрібно готуватись вдосконаленням конструкції автомобілів і рівня їх експлуатації.

Шкідливий вплив автомобільного транспорту на довкілля багатосторонній (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

### Шкідливий вплив автомобільного транспорту на довкілля



Цей прояв відбувається під час руху автомобілів, їх технічного обслуговування, а також у зв'язку з існуванням інфраструктури, що забезпечує функціонування автомобільного транспорту.

Найбільш шкідливими є фактори першої групи, а серед них – викиди шкідливих речовин автомобільними двигунами. Детально фактори, що наведені в таблиці 4.4, будуть розглянуті в подальших розділах посібника. Щоб довести вагомість шкідливого впливу автомобільного транспорту як штучного джерела забруднення навколишнього середовища, достатньо навести такі дані: згідно з різними дослідженнями, світовий парк автомобілів щорічно викидає в навколишнє середовище 480–800 млн тонн оксиду вуглецю, що становить близько 19 % світових викидів як природними, так і штучними джерелами; 19–29 млн тонн метану (7 %), 32–48 млн тонн інших вуглеводнів (4 %), 17–21 млрд тон діоксиду вуглецю (2 %), 36–76 млн тонн діоксиду азоту (20–50 %), 162–198 млн тонн діоксиду сірки (45 %).

За розрахунками вчених за всю свою історію автотранспорт спожив 170 млрд м<sup>3</sup> кисню і викинув в атмосферу 250 млрд м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>, що складає 60–70 % від діяльності людини за останні 100 років.

Про роль автомобільного транспорту в забрудненні атмосфери в Україні можна зробити висновок з рис 4.6, де показані викиди різних шкідливих речовин транспортними засобами.

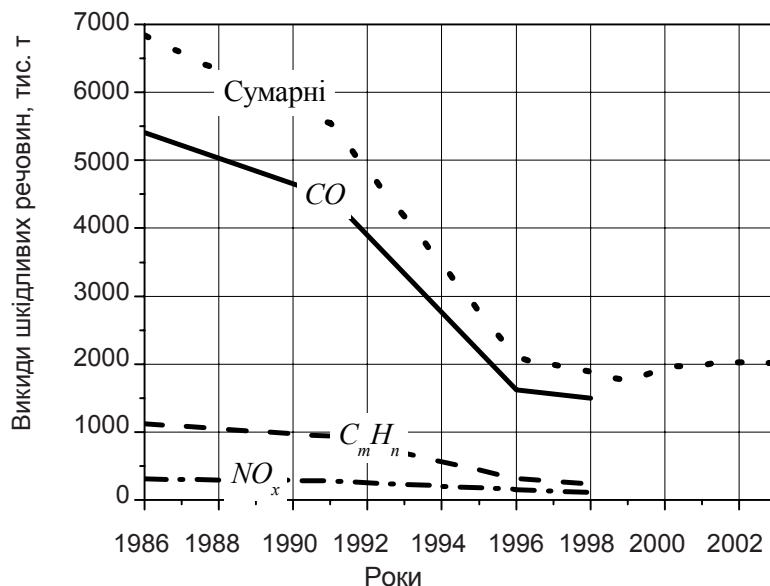


Рис 4.6. Динаміка викидів шкідливих речовин автомобільним парком України

Викиди автотранспортних засобів складають близько 40% всіх шкідливих речовин, що потрапляють в атмосферу. Для ряду міст України (Київ, Львів, Чернівці, Полтава та інші) ця величина перевищує 70 %.

Незважаючи на значне зменшення шкідливих викидів в період з 1986 до 1998 р., в подальший період їх величина стабілізується на рівні 2 млн т і становить близько 40 кг на кожного жителя України.

В м. Києві у 1991 році викиди шкідливих речовин в атмосферу склали 64,3 тис. тонн від стаціонарних джерел і 172,2 тис. тонн від пересувних засобів, тобто 72,8 % викидів в атмосферу міста приносять переважно автомобілі. У 1998 р. автомобільним транспортом Києва викинуто 196,109 тис. тонн забруднюючих речовин, таким чином 75,43 кг припадає на кожного жителя міста, 475,99 кг на один автомобіль та 4806,6 кг на гектар зелених насаджень.

Крім розглянутих у табл. 4.5 факторів шкідливого впливу автотранспорту, загрозою безпеці людей є також дорожні аварії, в яких у світі щорічно гине понад 250 тис. чол. і ще 10 мільйонів травмують.

#### **4.2. Основні шкідливі речовини, що надходять у довкілля під час роботи двигунів автомобілів**

Джерелами викидів шкідливих речовин автомобільних двигунів внутрішнього згоряння є:

- а) відпрацьовані гази;
- б) картерні гази;
- в) випаровування з системи живлення.

Процентний розподіл шкідливих викидів між трьома джерелами забруднення такий:

	CO	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	NO <sub>x</sub>
Відпрацьовані гази	100	55	100
Картерні гази	–	25	–
Випаровування палива	–	20	–

Основні джерела випаровування палива – паливний бак і карбюратор. Вони стосуються більше бензинових двигунів, дизельне паливо має меншу здатність випаровуватися, і паливна система дизеля більш герметична.

Картерні гази – утворюються в результаті прориву газів крізь нещільності циліндро-поршевої групи з камери згорання в картер.

Тут вони змішуються з парами олів і палива, яке змивається зі стінок циліндру. Треба відмітити, що картерні гази дизеля разів у 10 менше токсичні за картерні гази бензинових двигунів.

Сучасні автомобілі мають переважно замкнуту систему вентиляції картеру, яка практично унеможлиблює викиди шкідливих речовин у атмосферу. Вони також надходять у циліндри двигунів і там згорають. Картерні гази і випаровування складаються, в основному, з вуглеводнів.

Отже, основну небезпеку щодо забруднення довкілля і зокрема атмосферного повітря мають відпрацьовані гази. У відпрацьовані гази входить більше 1000 різних шкідливих речовин, які чинять негативний вплив на людину і довкілля, 200 з них розпізнано. Основними серед них є: оксид вуглецю ( $CO$ ), вуглеводні (загальна формула  $C_mH_n$ ), альдегіди (загальна формула  $RCHO$ ), канцерогенні речовини, до яких належать складні ароматичні вуглеводні поліциклічної будови (основний елемент – найтоксичніший і якого найбільше, бенз(б)пірен –  $C_{20}H_{12}$ ), оксиди азоту (загальна формула  $NO_x$ ), сполуки сірки (основна сполука – двооксид сірки  $SO_2$ ), тверді частинки (в основному сажа, що складається з вуглецю –  $C$ ), сполуки свинцю ( $PbO_4$ ).

Граничний вміст основних шкідливих речовин у відпрацьованих газах бензинових двигунів і дизелів наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

**Граничний вміст основних шкідливих речовин у ВГ бензинових двигунів і дизелів**

Назва речовин	Бензинові	Дизелі
Оксид вуглецю ( $CO$ ), %	10	0, 3
Вуглеводні ( $C_mH_n$ ), %	2	0, 5
Оксиди азоту ( $NO_x$ ), %	0, 6	0, 2
Альдегіди ( $RCHO$ ), %	0, 2	0, 05
Двооксид сірки ( $SO_2$ ), мг/м <sup>3</sup>	0, 003	0, 015
Сажа ( $C$ ), мг/м <sup>3</sup>	100	2000
Сполуки свинцю ( $PbO_4$ ), мг/м <sup>3</sup>	60	–
Канцерогени (бенз(α)пірен), мг/м <sup>3</sup>	25	10



**Óò âí ðáí í ý î ñí î âí èõ ø êëëëâëõ ðã÷í âèí  
í ã ÷àñ çâí ðýí í ý î àëëââ â òëëç äðàõ äâëëóí à**

*Оксид вуглецю*

Перебіг реакцій згоряння вуглеводневих палив у камерах згоряння двигунів відбувається дуже швидко – майже миттєво і носить вибухоподібний характер.

Реакції згоряння вуглеводневих палив досить складні і до сьогодні ще недостатньо вивчені. Згідно з теорією згоряння вуглеводневих палив, розробленої академіком Н.Н.Семеновим, горіння – це розгалужена ланцюгова реакція, коли кожна активна молекула породжує низку нових активних центрів, які прискорюють загальний перебіг реакцій згоряння.

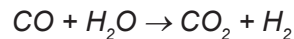
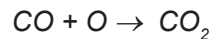
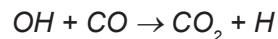
Спрощено процес згоряння вуглеводневого палива можна представити так:

1. Утворення активних радикалів, які вступають у реакції з киснем;
2. Поява активних пероксидів, які вступають у реакції з молекулами вуглецю, утворюючи молекули пероксиду водню;
3. Активні радикали пероксидів окислюються, утворюючи альдегіди і нові радикали.

В будь-якому випадку в результаті реакцій окислення на проміжному етапі згоряння утворюється оксид вуглецю  $CO$  і гідроксильна група  $OH$ .

Академік Я. Б. Зельдович запропонував таку схему реакцій згоряння оксиду вуглецю.

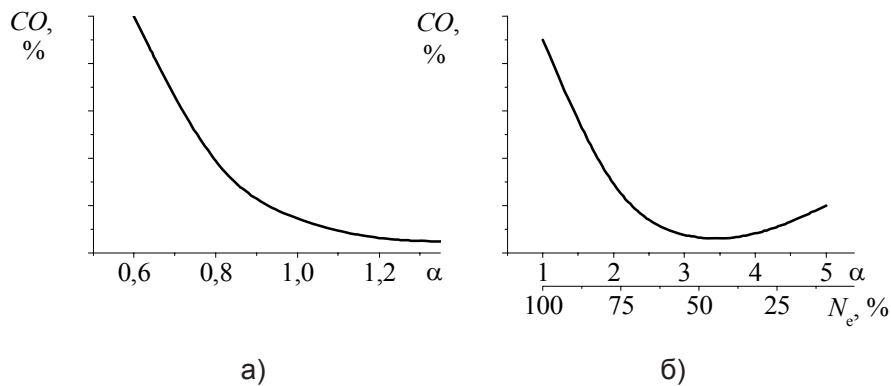
Завершальною стадією процесу згоряння вуглеводневих палив є процес окислення оксиду вуглецю  $CO$ , перебіг якої відбувається значно повільніше, ніж сам процес згоряння. Кінцеві продукти процесу згоряння вуглеводневих палив –  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ .



Оксид вуглецю  $CO$  – це продукт неповного згоряння палива. Концентрація його у відпрацьованих газах перш за все залежить від складу паливоповітряної суміші.

На рис. 4.6 показано залежності зміни концентрації оксиду вуглецю в сухих продуктах згоряння палива бензинового двигуна та дизеля від коефіцієнту надміру повітря в паливоповітряній суміші ( $\alpha$ ), а, зважаючи на те, що в дизеля зміна складу паливоповітряної

суміші спричиняє зміну потужності, то наведено і залежність концентрації шкідливих речовин від зміни потужності ( $N_e$ ).



**Рис. 4.6.** Залежність концентрації оксиду вуглецю CO у ВГ бензинового двигуна (а) і дизеля (б) від коефіцієнту надміру повітря паливоповітряної суміші

У разі надходження в циліндри бензинового двигуна багатих сумішей ( $\alpha < 1$ ) концентрація CO у відпрацьованих газах має досить великі значення. Тобто основною причиною утворення оксидів вуглецю під час згоряння палива є нестача кисню. У разі, коли  $\alpha > 1$ , концентрація CO у відпрацьованих газах стабілізується на рівні 0,2–0,3 % і далі вже практично не залежить від зміни складу суміші.

Збільшення концентрації оксидів вуглецю відбувається через зменшення температури згоряння бідної суміші, через припинення реакції окислення в прошарку суміші, що знаходиться поблизу стінок камери згоряння, де відбувається гасіння полум'я, а також через нестачу часу для допалювання CO.

Для дизелів, у яких в основному достатня кількість повітря –  $\alpha > 1$ , вміст оксидів вуглецю CO невеликий і, як правило, не перевищує 1 %. Максимальний вміст CO має місце за максимального навантаження двигуна. Пояснити це можна неякісним сумішоутворенням і локальним перезбагаченням паливоповітряної суміші, яке спричиняє неповне окислення вуглецю та підвищення вмісту сажі (кіптяви) у ВГ. Сажа, яка утворилась в початковий період згоряння, частково вигорає, в результаті чого збільшується утворення оксидів вуглецю.

В режимах малих навантажень та холостого ходу вміст CO збільшується через збільшення альдегідів, які вигорають з утворенням оксидів вуглецю CO.

#### *Вуглеводневі сполуки*

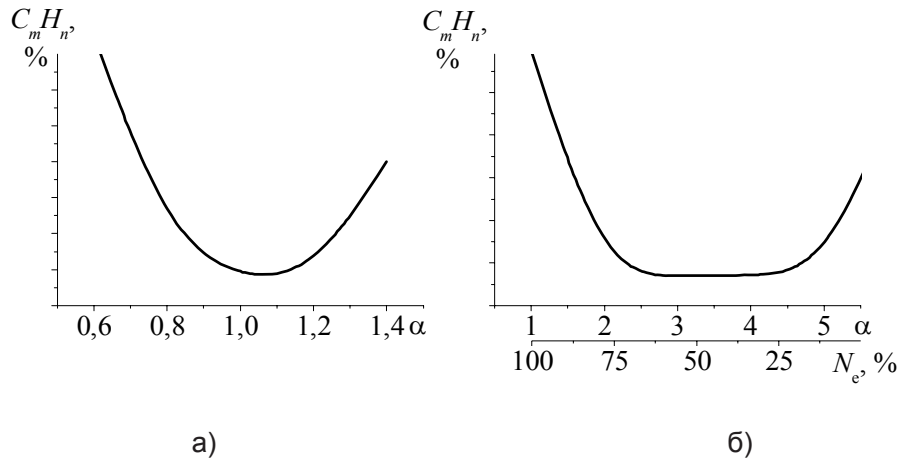
У відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згоряння міститься декілька сотень різновидів вуглеводневих сполук. Переважно це газоподібні частинки палива, що не згоріло. Складаються вони з парафінових  $C_nH_{2n+2}$ , нафтових  $C_nH_{2n}$ , ароматичних  $C_nH_{2n-6}$  і  $C_nH_{2n+12}$  та інших вуглеводнів.

Окрім того, у відпрацьованих газах містяться органічні пероксиди і альдегіди (недоокиснені вуглеводні), що виникають у результаті взаємодії активних радикалів, які утворились під час передполум'яних реакцій з молекулами кисню. Цю групу вуглеводнів прийнято позначати загальною формулою  $RCHO$ . Основними речовинами, що входять до цієї групи, є альдегіди – формальдегід  $H_2C=O$  та акролеїн  $CH_2=CH-CHO$ .

В період основного процесу згоряння палива за умови високих температур і тисків та нестачі кисню від деяких проміжних видів вуглеводневих сполук відокремлюються атоми водню. Вуглеводні, які утворилися у такий спосіб, є нестійкими, і вони можуть поєднуватися між собою у складні структури, так звані поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ). Серед цих вуглеводнів основним за кількістю утворення та токсичністю є бенз( $\alpha$ )пірен  $C_{20}H_{12}$ , що має канцерогенні властивості (спричиняє ракові захворювання).

Суттєвий вплив на концентрацію вуглеводнів у ВГ двигунів внутрішнього згоряння чинить склад паливної суміші. Характер зміни вмісту вуглеводнів у відпрацьованих газах бензинового двигуна та дизеля від коефіцієнту надміру повітря в паливоповітряній суміші та навантаження показано на рис. 4.7.

У разі живлення бензинового двигуна збагаченими сумішами ( $\alpha < 1$ ) через нестачу кисню в продуктах згоряння палива міститься більша кількість вуглеводневих сполук, які не згоріли і з відпрацьованими газами надходять у атмосферне повітря.



**Рис. 4.7.** Залежність зміни концентрації вуглеводнів  $C_m H_n$  у ВГ бензинового двигуна (а) і дизеля (б) від коефіцієнта надміру повітря паливоповітряної суміші

Із збідненням паливоповітряної суміші ( $\alpha > 1$ ) концентрація вуглеводнів у ВГ значно зменшується і сягає свого мінімуму при  $\alpha \approx 1,05-1,15$ . Пояснюється це найбільш повним згоранням паливоповітряної суміші завдяки оптимальному її складу. Наявність вуглеводневих сполук у разі живлення двигуна збідненими сумішами спричинена неоднорідністю паливоповітряної суміші і гасінням полум'я у прошарку поблизу стінок камери згорання. Між фронтом полум'я і стінками камери згорання існує зона ламінарного руху заряду, де і відбувається гасіння полум'я через значне зменшення температури в цій зоні. Окрім паливоповітряної суміші, в цій зоні містяться і продукти згорання палива від попередніх робочих циклів. Товщина цього прошарку може сягати 0,4 мм. Концентрація вуглеводнів у пристінковій зоні значно більша, ніж у самих відпрацьованих газах.

Різке збільшення концентрації  $C_m H_n$  у ВГ із подальшим збідненням суміші –  $\alpha > 1,3-1,4$  пояснюється тим, що в окремих циліндрах, через надмірне збіднення суміші, згорання не відбувається, тобто мають місце пропуски займання. І паливо, що не приймало участі у згоранні, надходить у атмосферу.

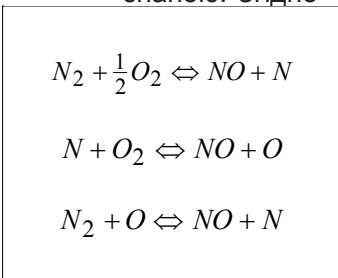
Механізм утворення продуктів неповного згорання палива для дизелів такий же, як і для бензинових двигунів. Процес згорання палива у дизеля відбувається завжди при  $\alpha > 1$ , тобто завжди має місце достатня кількість кисню в циліндрах. Тому концентрація про-

дуктів неповного згоряння палива  $CO$  і  $C_mH_n$  у відпрацьованих газах дизелів не перевищує десятих або сотих частинок відсотка.

Зміна вмісту вуглеводнів для дизелів залежно від  $\alpha$  має аналогічний характер перебігу залежності  $CO$  від  $\alpha$ . Підвищений вміст вуглеводнів на великих навантаженнях (при низьких)  $\alpha$  пов'язаний із перезбагаченням паливоповітряної суміші в окремих частинах камери згоряння, а збільшення  $C_mH_n$  в режимах малих навантажень, пов'язано з поганою якістю розпилювання палива і невисокою температурою в циліндрі двигуна.

### Оксиди азоту

Утворення оксидів азоту  $NO$  та  $NO_2$  (загальна формула  $NO_x$ ) під час згоряння палива в циліндрах двигунів, в першу чергу, пов'язане з високою температурою, що має місце в циліндрах двигуна. Термічна теорія утворення оксидів азоту, основи якої розроблено академіком Я.Б. Зельдовичем, є загальнови-



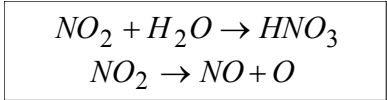
знаною. Згідно з цією теорією для утворення азоту необхідна висока наявність вільного кисню. Окислення азоту здійснюється за такою схемою. Праворуч наведені можливі зв'язки азоту.

Окислення азоту здійснюється за такою схемою. Праворуч наведені можливі зв'язки азоту. Окислення азоту здійснюється за такою схемою. Праворуч наведені можливі зв'язки азоту.

Окрім основних реакцій окислення, має місце реакція:  $2NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2$ . Відбувається вона не лише в камері згоряння, а також у випускній системі двигуна і в атмосфері.

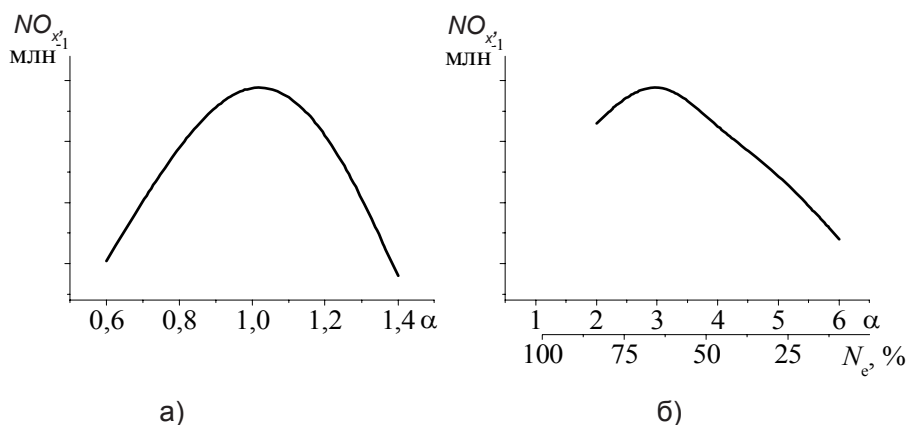
Можлива також реакція оксиду азоту з воднем:  $2NO + H_2 \rightleftharpoons N_2O + H_2O$ .

Двооксид азоту вступає в реакцію з паром води, утворюючи азотну кислоту, частково розпадається на  $NO$  і  $O$ .



Концентрація  $NO_x$  також залежить від складу паливоповітряної суміші. На рис. 4.8 показано залежність зміни концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах бензинового двигуна та дизеля від коефіцієнту надміру повітря в паливоповітряній суміші.

Максимальна концентрація  $NO_x$  у відпрацьованих газах бензинового двигуна припадає на склад суміші, близький до стехіометричного ( $\alpha=1$ ) або дещо збіднений ( $\alpha>1$ ), коли має місце максимальна температура робочого циклу. Зменшення  $NO_x$ , коли збагачена суміш пояснюється нестачею кисню, а зменшення  $NO_x$  зі значним збідненням суміші, викликані зменшенням температури в камері згорання.

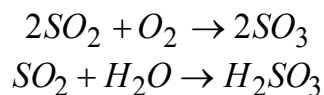


**Рис. 4.8.** Залежність концентрації вуглеводнів  $NO_x$  у ВГ бензинового двигуна (а) і дизеля (б) від коефіцієнта надміру повітря паливоповітряної суміші

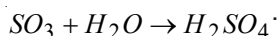
Максимальна концентрація оксидів азоту  $NO_x$  у відпрацьованих газах дизеля, як правило, відповідає максимальному навантаженню. Проте якщо значення димності ВГ дизеля за максимального навантаження перебільшує встановлені норми, тоді максимальні значення вмісту  $NO_x$  у відпрацьованих газах переміщуються в сторону менших навантажень, тобто в сторону збіднення суміші. Зменшення концентрації  $NO_x$  у ВГ дизеля із зменшенням навантаження пояснюється зменшенням температури в циліндрах двигуна.

#### Сполуки сірки

Сірка входить до складу вуглеводневих палив як шкідлива домішка. В камері згорання, з'єднуючись із киснем, вона утворює двооксид сірки (сірчистий ангідрид):  $S + O_2 \rightarrow SO_2$ .



Потрапляючи разом із відпрацьованими газами у атмосферу, двооксид сірки вступає в реакцію з киснем повітря, утворюючи ангідрид сірки (сірчаний ангідрид) або розчиняється у водяній парі, утворюючи сірчисту кислоту. Ангідрид сірки, у свою чергу, сполучається з водяною парю, утворюючи сірчану кислоту:

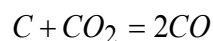
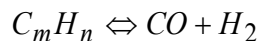


### Сажа

Утворення сажі в процесі згоряння вуглеводневих палив в циліндрах двигуна пов'язане з термічним розкладанням (піролізом) вуглеводнів палива під впливом високих температур і умовах нестачі кисню.

Піроліз вуглеводневих палив у камері згоряння відбувається, коли коефіцієнт надміру повітря  $\alpha = 0,3-0,7$ . Піроліз палива носить, як правило, локальний характер. В окремих зонах камери згоряння відбуваються реакції розпаду вуглеводневого палива на вуглець і водень:  $C_m H_n \rightarrow mC + \frac{n}{2} H_2$ .

Частки вуглецю, які утворилися в результаті піролізу вуглеводневих палив, вступають в реакцію з речовинами, що містять кисень і частково вигорають.



Поблизу стінок циліндра двигуна, де температура паливоповітряної суміші менша, частинки вуглецю охолоджуються, в подальшому процесі згоряння вони практично не приймають участі. Ці охолоджені частинки вуглецю і є сажа (кіптява), яка у складі відпрацьованих газів надходить у атмосферу.

Серед усіх енергетичних установок, дизелі – основні джерела викидів сажі. І хоча в циліндрах дизеля суміш завжди збіднена ( $\alpha > 1$ ), проте через недосконалість процесу сумішоутворення в камерах

згоряння дизелів завжди мають місце зони нерозпиленого палива, в яких локальне значення значно менше за одиницю і навіть наближається до нуля. Це і є осередки, де виникає сажа.

При збагаченні паливоповітряної суміші частки вуглецю, що утворились у результаті піролізу, вигорають у меншій мірі.

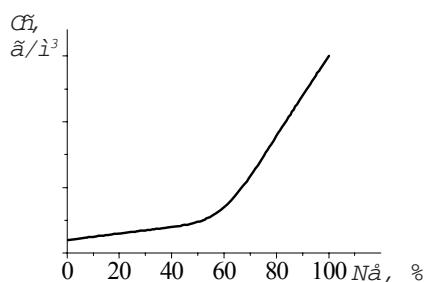


Рис. 4.9. Залежність вмісту сажі у ВГ дизеля

Як відомо, збагачення паливоповітряної суміші в дизелі має місце за умови збільшення навантаження. Тому часто вихід сажі з відпрацьованими газами аналізують залежно від навантаження (потужності дизеля). Така залежність показана на рис. 4.9. Інтенсивність збільшення вмісту сажі спостерігається при навантаженнях, близьких до повного, де коефіцієнт надміру повітря сягає 1,4–1,6.

### Сполуки свинцю

Підвищення октанового числа бензину раніше досягали додаванням до бензину етилової рідини, до якої входять тетраетилсвинець  $Pb(C_2H_5)_4$  і так звані виносники:  $\alpha$ -хлорнафталена з бромідом етилу чи дібромметану або дібромпропану тощо.

Тetraethylsвинець – отруйна речовина, без кольору, легко розчиняється в бензині, температура кипіння 152 °С при тиску 25 кПа.

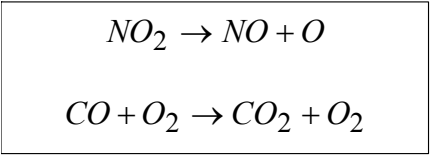
Виносники в камері згоряння перетворюють сполуки свинцю в газоподібні речовини, які викидаються з циліндрів двигуна разом із відпрацьованими газами в атмосферу. У відпрацьованих газах свинець також міститься як аерозоль оксидів свинцю і сполук свинцю з бромом або хлором у виді солей.

### Оксид азоту і вуглецю в атмосфері

До основних забруднювальних речовин, які утворюються в атмосфері, відносять речовини, що виникають у результаті термохімічних і фотохімічних реакцій. Переважно це речовини, які утворюються в результаті фотохімічних реакцій і утворюють фотохімічні тумани. Джерелом їх утворення, в основному, є відпрацьовані гази автомобілів. Утворюються ці речовини у атмосфері під впливом сонячного ультрафіолетового випромінювання.

Первинною реакцією є реакція розкладання двооксиду азоту на оксид азоту і атомарний кисень, в результаті яких відбувається поглинання ультрафіолетового випромінювання сонячного спектру і реакція окислення оксиду вуглецю під впливом ультрафіолетового випромінювання.

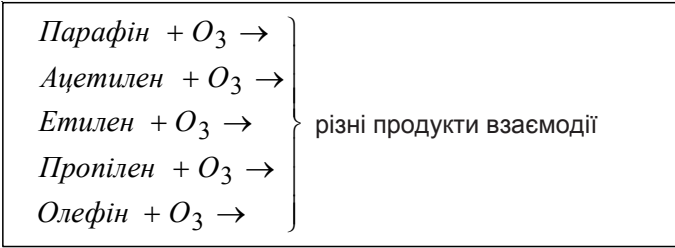
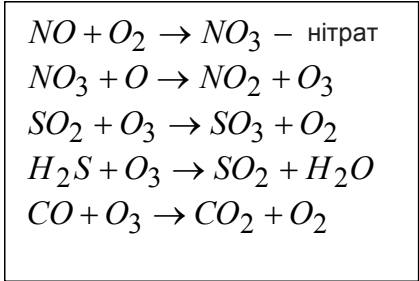
Атомарний кисень вступає в реакцію з молекулярним киснем, утворюючи озон,  $O + O_2 \rightarrow O_3$ .





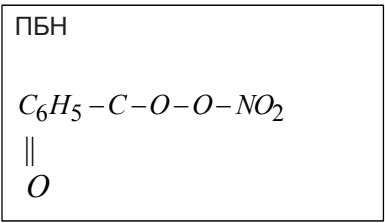
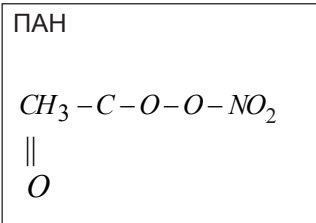
Окрім цих реакцій, під впливом ультрафіолетового випромінювання мають місце і такі:

Реакція розкладання (дисоціації)  $NO_2$  спонукає перебіг багатьох реакцій, зокрема появу вільних радикалів з вуглеводневих сполук. У цьому випадку  $NO_2$  є каталізатором для утворення вільних радикалів. Вільні радикали, окислюючись, утворюють альдегіди та інші речовини, які містять вуглець, а також аерозолі.



Озон спонукає реакції окислення вуглеводнів у атмосфері

Окислення вуглеводнів і оксидів азоту приводить до виникнення пероксилацетнітратів (ПАН), пероксилбензолнітратів (ПБН) та ін. Основні з них:



Таким чином основними складовими фотохімічних перетворень в атмосфері є оксиди азоту, озон, альдегіди, гідрати, речовини групи ПАН, карбонільні сполуки, аерозолі тощо.

*Ø è³äëèâ³ ðå÷í âèí è èàððò áðí èõ äàç³à ò à âèí àðí áóáàí í ÿ ñèñò àí è æèèèáí í ÿ*

Крім відпрацьованих газів, джерелом забруднення навколишнього середовища при експлуатації бензинових двигунів є картерні гази та випаровування системи живлення, хоча їх кількість (за ви-

нятком вуглеводнів) відносно невелика. Відносно викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами, викиди з картерними за СО складають 2–8 %,  $C_m H_n$  – 150–300 %,  $NO_x$  – до 2 %. Випаровування бензину потрапляють в атмосферу з паливного бака, а для карбюраторних двигунів – додатково з карбюратора.

Як показав аналіз повітря в дев'яти визначних містах СНД, склад вуглеводнів у повітрі ближчий до складу палива, ніж відпрацьованих газів, що свідчить про значну роль випаровувань і викидів з картерними газами в забрудненні атмосфери вуглеводнями.

Кількість шкідливих речовин, які викидаються з картерними газами дизеля менше, ніж у бензинового двигуна. Викиди  $NO$  складають 0,2 %, – 0,3–0,5 %, вуглеводнів – 0,1–3,0 % від шкідливих викидів із відпрацьованими газами.

**Àï èèà ø êëèèèèè ðà+í âèí , ýé³ í àäõí äýò ü  
ó àò ì í ñò áðó ç â³äï ðàòüí âàí èì è ààçàì è ÄÄÇ  
í à èþ äèí ó³ äí âêëëÿ**

#### Оксид вуглецю

Основний негативний вплив оксиду вуглецю на організм людини полягає у порушенні газового обміну в організмі. Гемоглобін крові в легенях у 240 разів швидше сполучається з оксидом вуглецю, ніж з киснем, утворюючи карбоксигемоглобін ( $COHb$ ), і втрачає здатність переносити кисень від легенів до окремих органів та виносити з них вуглекислий газ. Міра впливу оксиду вуглецю на організм людини залежить від концентрації його в атмосфері і від тривалості впливу. Вміст  $CO$  у повітрі 0,01% з тривалістю дії більше однієї години викликає головний біль, погіршення реакції та зменшення працездатності. Більші концентрації  $CO$  спричиняють більш важкі наслідки, аж до втрати свідомості. Довготривале вдихання  $CO$  призводить до серцево-судинних захворювань, появи атеросклерозу, враження центральної нервової системи, виникнення інфаркту міокарда, розвитку легеневих захворювань. Особливо впливає оксид вуглецю на людей, що страждають коронарною недостатністю.

Високі концентрації  $COHb$  призводять до втрати свідомості, навіть до смерті (рис. 4.10). Дослідження показали, що перебування в атмосфері із вмістом  $CO$  лише 0,001–0,0015 % ( $10\text{--}15 \text{ млн}^{-1}$ ) протягом 8 годин спричиняє у окремих людей погіршення здатності до сприйняття часу. Процес утворення карбоксигемоглобіну є зворотним. За зупинки вдихання  $CO$  його концентрація на кожні 3–4 години зменшується удвічі.

Дослідження щодо впливу СО на рослинний світ довели, що за концентрації СО нижче 0,01 % такого впливу не відбувається навіть у випадку витримки рослин в цій атмосфері протягом 3 тижнів, але в деяких дослідженнях погіршувалось утворення пилку.

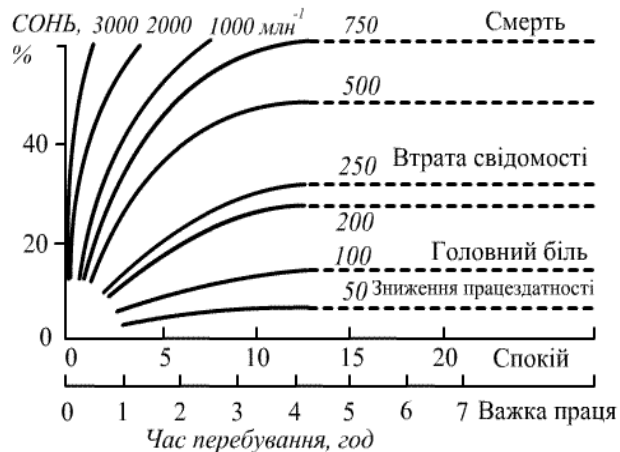


Рис. 4.10. Діаграма впливу вмісту СО у повітрі на організм людини

#### Вуглеводневі сполуки

З великої кількості вуглеводнів, які містяться у відпрацьованих газах, найбільшої шкоди завдають ароматичні вуглеводні олефінового ряду, тобто ненасичені вуглеводні етилового ряду, що мають високу активність і є вихідними продуктами для утворення фотохімічного смогу. Вплив вуглеводнів на організм людини різноманітний: від виникнення неприємних відчуттів до появи різних захворювань. Характерною особливістю дії вуглеводнів на організм людини є їх вплив на центральну нервову систему. Великі концентрації вуглеводнів можуть призвести до наркотичного сп'яніння, що неприйнятно, особливо під час керування автомобілем. Окрім того, вуглеводні спричиняють виникнення серцево-судинних захворювань, аритмію серця, порушують діяльність шлунково-кишкового тракту, викликають зміни у складі крові.

Численними дослідженнями встановлено, що один із вуглеводнів – етилен – негативно впливає на рослини, викликаючи симптоми раннього старіння, хронічні ураження, відпадання квіток та плодів, припинення росту.

Особливу групу вуглеводнів складають канцерогени – речовини, що спричиняють ракові захворювання. Серед них особливою канцерогенною активністю відрізняється бенз(б)пірен ( $C_{20}H_{12}$ ), що має вигляд кристалів жовтого кольору. Він добре розчиняється в олівах, жирах, сиворотці людської крові, в місцях безпосереднього

контакту кристалів з тканинами органів спричиняє виникнення злоякісних пухлин, має властивість накопичуватися в організмі людини і, досягнувши критичних концентрацій, спричиняє ракове захворювання.

### *Альдегіди*

Основними альдегідами, що надходять у атмосферу з відпрацьованими газами, є формальдегід і акролеїн.

*Формальдегід* (мурашковий альдегід) – газ без кольору із задушливим, подразнюючим запахом. Охолоджуючись, перетворюється в рідину за температури мінус 21°C. Легко розчиняється у воді. Розчин, який містить 40 % формальдегіду, називається формаліном. Газ шкідливо впливає на органи дихання і слизові оболонки, є дуже сильним подразником, вражає діяльність центральної нервової системи, печінки, нирок. За концентрації формальдегіду у атмосфері 0,007 % має місце легке подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок очей і носа, за концентрації 0,18 % – подразнення сильне. Запах сприймається людиною за концентрації 0,000015 %, і це має бути сигналом, що перебування в такій атмосфері небезпечне.

*Акролеїн* – рідина без кольору із запахом підгорілих жирів. Температура кипіння 52,4 °C. Пара акролеїну спричиняє сильне подразнення слизових оболонок очей. Вміст його в атмосфері 0,002 % згубний, 0,0005 % – важко переносимий, 0,00008 % – для людини безпечний. Запах сприймається людиною за концентрації 0,00016 %. Концентрація його в повітрі 0,014 % може призвести до смерті через 10 хвилин. Вплив акролеїну на організм людини адекватний впливу формальдегіду.

### *Сажа*

Відпрацьовані гази ДВЗ є основним джерелом викиду в атмосферу твердих частинок і в першу чергу сажі (кіптяви). Частинки сажі розміром 0,5–2 мкм затримуються в легенях, викликаючи алергію.

Основна небезпека сажі полягає у тому, що на своїй поверхні вона адсорбує велику кількість вуглеводневих сполук, зокрема поліциклічних ароматичних вуглеводнів, і серед них найбільш активний і небезпечний – бенз(а)пірен. Саме за допомогою сажі ці сполуки надходять в організм людини через дихальні шляхи.

Крім того, як механічна домішка, сажа погіршує прозорість атмосфери, вона перебуває в повітрі у завислому стані до 8 діб.

### *Оксиди азоту*

Основна частина оксидів азоту, які знаходяться в атмосфері, надходить з відпрацьованими газами автомобілів.

Оксиди азоту  $NO$  і  $NO_2$  отруйні для організму людини, мають сильну подразнюючу дію, особливо на слизові оболонки, зокрема очей. Здатні глибоко проникати в легені, викликаючи пошкодження їх тканин. За високої концентрації можливі виникнення хронічних респіраторних захворювань і навіть смертельні випадки.

Двооксид азоту в концентрації 4–6 мг/м<sup>3</sup> викликає порушення життєдіяльності рослин, пригнічуючи їх зростання. Тривалий вплив  $NO_2$  призводить до хлорозу рослин (передчасного старіння).

Двооксид азоту є вихідним продуктом утворення озону під впливом ультрафіолетового випромінювання. А надмірне накопичення озону у приземному просторі дуже шкідливе. Крім того,  $NO_2$  має вирішальну роль в утворенні фотооксидантів. Розчин  $NO_2$  у воді є складовою “кислотних дощів”.

### *Сполуки сірки*

Сірчистий газ  $SO_2$  – основний токсичний продукт сполук сірки, що надходить у атмосферу з відпрацьованими газами. У вільному стані  $SO_2$  – це газ без кольору з різким запахом, кислий на смак, отруйний, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Легко розчиняється у воді, утворюючи сірчисту кислоту  $H_2SO_3$ .

Газ вражає органи дихання, змінює склад крові, погіршує імунітет, порушує білковий обмін речовин в організмі. Крім того, він руйнує вітамін B1 у крові, збільшує накопичення цукру і білку.

Висока концентрація  $SO_2$  в атмосфері викликає гострий бронхіт, задуху, можливу смерть внаслідок рефлексорного спазму горла.

Сполуки сірки  $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $H_2SO_3$  і  $H_2SO_4$  наносять значний збиток лісовому і сільському господарствам – вони закислюють ґрунт, підвищують вразливість рослин захворюваннями. Окрім того, ці речовини є основними складовими класичного смогу і складовою “кислотних дощів”.

Сполуки сірки наносять значних збитків комунальному господарству міст, руйнуючи металеві конструкції, бетон, піддають руйнації пам'ятки архітектури.

### *Сполуки свинцю*

Наявність сполук свинцю в атмосферному повітрі міст, в основному, пов'язана з відпрацьованими газами бензинових двигунів, які живляться етилованим бензином.

Етилова рідина згорає в камерах згоряння двигунів, утворюючи неорганічні сполуки – оксиди і солі, які завдяки виносникам аерозолями надходять у атмосферу. Зважені частинки розпоршуються в навколишньому середовищі. Значна частина сполук свинцю осідає на землю поблизу автомобільних доріг.

Аерозолі потрапляють в організм людини в процесі дихання. Окрім того, сполуки свинцю можуть потрапляти в організм людини крізь шкіру і разом з їжею. Вони викликають порушення функцій органів травлення, нервово-м'язової системи і мозку. Свинець і його сполуки здатні накопичуватися в організмі до небезпечних концентрацій, тому що погано виводяться з організму. Особливо вони небезпечні для дітей, оскільки уповільнюють їх фізичний і розумовий розвиток.

#### *Продукти фотохімічного синтезу*

В останній час, досліджуючи забруднення атмосфери міст і великих промислових центрів, велику увагу почали приділяти вмісту в ній озону. Раніше (до 1967 р.) вважалося, що наявність озону в повітрі свідчить про його чистоту. Зараз ця думка змінилась. Через те, що озон – сильний окисник, він є проміжним продуктом фотохімічних реакцій в умовах забрудненої атмосфери. Дуже шкідливо озон впливає на рослинність, спричиняючи передчасне старіння, значне зменшення врожайності сільськогосподарських культур.

Окрім того, значні матеріальні збитки пов'язані з руйнацією пам'яток архітектури та мистецтва.

Для запобігання руйнації синтетичних тканин, пластмас та виробів з гуми додають спеціальні добавки, що призводить до їх подорожчання.

Згубно діє озон на організм людини – спричиняє подразнення слизової оболонки, очей, кашель, задуху, спазми дихальних шляхів, а також призводить до виникнення серцево-судинних захворювань. Озон як токсичну речовину відносять до першого класу небезпеки. Особливо небезпечний він для дітей, тому що вони в результаті більш рухливого способу життя споживають значно більшу кількість повітря.

Утворені в результаті фотохімічних реакцій за участю озону оксиданти ПАН і ПБН подразнюють слизові оболонки людини, зменшують прозорість атмосфери, пошкоджують рослини, руйнують гуму, і ці властивості проявляються за дуже малих концентрацій.

Деякими дослідженнями встановлено, що за інтенсивного фотохімічного смогу спостерігається зростання захворюваності

тварин. Особливу небезпеку оксиданти створюють для осіб з порушеннями органів дихання.

В табл. 4.6 наведено дані про вплив різних концентрацій озону та фотооксидантів в повітрі на стан людини та довкілля.

Таблиця 4.6

**Вплив концентрацій озону та фотооксидантів в повітрі на стан людини та довкілля**

Концентрація, млн <sup>-1</sup>	Тривалість дії, год	Ефект
<i>Озон</i>		
0,02	1	Натягування та розтріскування гуми
0,03	8	Пригнічення рослинності
0,1	1	Спазми дихальних шляхів
2,0	2	Сильний кашель
<i>Фотохімічні оксиданти</i>		
0,05	4	Пошкодження рослин
0,1	4	Подразнення слизової оболонки ока
0,03-0,3	1	Погіршення спортивних показників

Накопиченню озону в нижніх шарах атмосфери сприяє автомобільний транспорт, що є основним джерелом утворення оксидів азоту та вуглеводнів, що виступають каталізаторами для утворення озону. Отже, досягти зменшення концентрації озону в великих містах можна запровадженням будь-яких заходів щодо зменшення оксидів азоту та вуглеводнів у відпрацьованих газах ДВЗ.

### 4.3. Шумове забруднення довкілля

Шум – це одна з форм фізичного (хвильового) забруднення природного середовища. Транспортний шум – це перевищення природного рівня шуму, спричиненого роботою двигунів, колесами, гальмами і аеродинамічними особливостями транспортного засобу.

Абсолютно безшумний автомобіль на дорогах такий же неприємний, як і дуже шумний. У разі безшумного автомобіля водій втрачає зворотний зв'язок з автомобілем – він не відчуває швидкості та резервів потужності автомобіля. Окрім того, пішохід взагалі не відчуває наближення небезпеки, і це може призвести до небажаних наслідків для усіх учасників дорожнього руху.

### Характеристики звукових хвиль

Шум – це сукупність багаточисельних звукових коливань, які швидко змінюються за силою і частотою. Вплив шуму на людину виявляється у широкому діапазоні: від появи роздратованості до втрати слуху. Шум заважає людям повноцінно відпочивати, зменшує продуктивність праці, викликає головний біль, підвищену втомлюваність. Під впливом шуму можливе виникнення “шумової хвороби”, яка призводить до захворювання нервової системи людини, втрати слуху, розвитку гіпертонічної хвороби, виникненню серцево-судинних захворювань та ішемічної хвороби серця. Окрім того, шум може спричиняти швидкий розвиток вже існуючих хвороб. Шум скорочує тривалість життя в межах 8–12 років. Надмірний шум може стати причиною нервового виснаження, психічної пригніченості, вегетативного неврозу (розлад нервової системи, що регулює обмін речовин і діяльність внутрішніх органів), виразки, зміни функціонального стану центральної нервової системи.

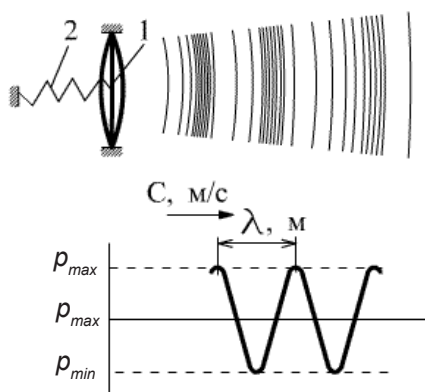


Рис. 4.11. Схема звукових коливань

Джерело звуку характеризує звукова потужність, частотний спектр випромінювання і характеристика направленості.

Перенесення енергії під час поширення звукової хвилі характеризує вектор миттєвої інтенсивності звуку, яку називають щільністю потоку звукової потужності, Вт/м<sup>2</sup>.

$$I = p \cdot v$$

$$\text{або } I = \frac{p^2}{\rho \cdot v}, \quad (4.1)$$

де  $p$  – тиск звуку, Па – різниця між миттєвим значенням звукового тиску і барометричним тиском;  $\rho$  – густина середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  – швидкість поширення звуку, м/с.

$$v = \lambda \cdot f, \quad (4.2)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі, м;  $f$  – частота коливань, Гц

Звукова потужність ( $N$ , Вт), яку розвиває джерелом шуму, – це звукова енергія, яку воно випромінює за одиницю часу. Визнача-



ють її потоком інтенсивності звуку крізь замкнуту поверхню площею  $S$ , що оточує джерело звуку.

$$N = \oint_S I_n dS, \quad (4.3)$$

де  $I_n$  – нормаль до вказаної поверхні.

Інтенсивність звуку, звукова потужність джерела звуку пов'язані з величинами, які визначають фізичний вплив звуку на людину. Простір, у якому поширюються звукові хвилі, називають *звуковим полем*.

Зміна фізичного стану середовища у звуковому полі, яке спричинено наявністю звукових хвиль, характеризують інтенсивністю звуку, звуковим тиском, рівнем звукової потужності та частотним спектром.

До звукових коливань, які сприймає людське вухо, відносять коливання, частота яких знаходиться в межах від 16 до 20000 Гц. Коливання з частотою нижче 16 Гц відносять до інфразвуку, понад 20000 Гц – ультразвуку. Коливання з такими частотами людина не відчуває, проте вплив їх негативний.

Величини інтенсивності звуку, звукового тиску і звукової потужності змінюються в дуже широких межах. Наприклад, звуковий тиск самого тихого звуку, який може сприйняти людина, становить  $2 \cdot 10^{-5}$  Па, максимальна величина звукового тиску, що сприймається людиною, –  $2 \cdot 10^4$  Па.

Ще в більш широких межах змінюються величини інтенсивності звуку і звукова потужність, межі їх зміни сягають  $10^{15}$  разів. Користуватися абсолютними величинами цих показників дуже незручно.

*Основні оцінювальні показники фізіологічного впливу звуку на людину*

На підставі психофізіологічного закону Вебера-Фехнера, що встановлює залежність подразнюючого впливу шуму на людину, відповідно якому зі збільшенням інтенсивності звуку джерела шуму його подразнюючий вплив людина сприймає за логарифмічною залежністю. Тобто органи слуху людини сприймають не різницю, а кратність зміни абсолютного значення, тому на практиці для вимірювання шуму застосовують відносні показники цих параметрів, що називають рівнями. Кожен ступінь цієї шкали відповідає зміні інтенсивності шуму в десять разів. За одиницею вимірювання прийнято умовну величину, що (на честь англійського інженера О. Белла – винахідника телефону) назвали – бел (Б). Частіше на практиці застосовують таку одиницю, як децибел – дБ, яка дорівнює 0,1Б.

$$\text{Рівень інтенсивності звуку, дБ: } L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}; \quad (4.4)$$

$$\text{Рівень звукового тиску, дБ: } L_p = 10 \lg \frac{p_c^2}{p_{сп}^2}; \quad (4.5)$$

$$\text{Рівень звукової потужності, дБ: } L_N = 10 \lg \frac{N}{N_0}, \quad (4.6)$$

де  $I_0$ ,  $p_{сп}$ ,  $N_0$  – порогові величини інтенсивності звуку, середньоквадратичного звукового тиску і звукової потужності:  $I_0=10^{12}$  Вт/м<sup>2</sup>;  $p_{сп}=2 \cdot 10^{-5}$  Па;  $N_0=10^{-12}$  Вт;  $I, p_c, N$  – інтенсивність звуку, середньоквадратичне значення звукового тиску, середня звукова потужність.

Чутливість слуху людини спадає із зменшенням частоти звуку.

Наприклад, вухо людини сприймає чистий тон (його ще називають музичний тон – це синусоїдальні коливання) частотою 100 Гц, що має рівень звукового тиску 44 дБ, як той, що дорівнює за гучністю чистому тону частотою 1000 Гц з рівнем звукового тиску 29 дБ. Ці поправки розроблені на основі множини кривих однакової гучності Флейтчера-Монсона (рис. 4.12).

В техніці Міжнародною електротехнічною комісією визначено різні коригувальні частотні характеристики А, В, С і Д. Як стандартну частотну характеристику затверджено так звану шкалу А, яка найбільш близька до частотної характеристики чутливості сприймання слухового апарату людини.

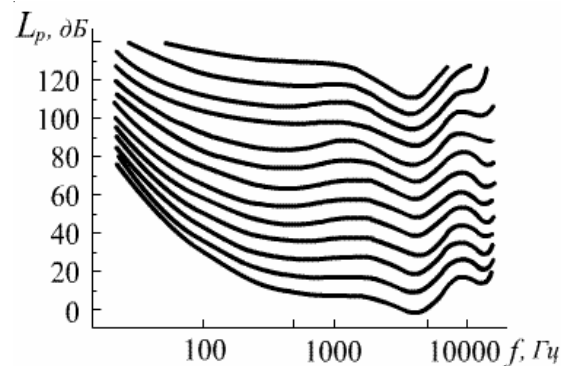


Рис. 4.12. Криві однакової гучності для чистих тонів

Для цієї характеристики опорною частотою прийнято частоту 1000 Гц і наведені значення поправок на усіх інших частотах (див. табл. 4.7).

Сукупність частот, які складають шум, називають *спектром шуму*. Визначаючи основні рівні величин

шуму, які є сукупністю звукових хвиль різної частоти, весь спектр чутного шуму поділяють на декілька ділянок, які називаються октавами.

Октава – смуга частот, в якій кінцева частота у два рази більша початкової, тобто  $f_k = 2f_{п}$ .

Величини  $L_I, L_p, L_N$  визначають в октавних смугах із середньоквадратичними значеннями частот (за табл. 4.7)  $f_{ср} = \sqrt{f_k \cdot f_{п}}$ .

Іноді за технічними вимогами на показники шуму деяких машин, і особливо під час порівнянь машин різних конструкцій, оцінювання проводить за корегованим рівнем звукової потужності, який є сумарним рівнем звукової потужності з корекцією за шкалою А на частотах, які розглядають.

Таблиця 4.7  
Значення поправок за шкалою А

Середньгеометрична частота, $f_{ср}$ , Гц	Значення поправок за частотною характеристикою шкали А, дБ
16	-56,7
31,5	-39,4
63	-24,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0
2000	+1,2
4000	-1,0
8000	-1,1

Корегований рівень звукової потужності визначають за рівнянням:

$$L_{N,A} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{Ni,A}}, \quad (4.7)$$

де  $L_{Ni,A}$  – рівні звукової потужності в октавних смугах частот з урахуванням поправки за характеристикою А, дБ;  $i$  – число вимірювань.

Основним оцінювальним показником шуму в гігієні є еквівалент рівня шуму  $L_{\text{е\text{кв}}}$ . Це рівень постійного шуму, за якого за певний період часу  $t$  передають таку ж енергію, як і за неусталеного шуму за цей самий проміжок часу. Еквівалентний неперервний рівень звуку визначають за рівнянням:

$$L_{\text{дв}} = 10 \lg \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 L_A(t)} dt \right), \quad (4.8)$$

де  $L_A(t)$  – значення рівня звуку,  $t_1, t_2$  – період часу.

### Основні види і джерела шуму двигуна та автомобіля

Загальний шум автомобіля, що рухається, складають шум, який створюють двигун, агрегати автомобіля, кузов, додаткове обладнання, шурхіт від кочення шин, потік повітря.

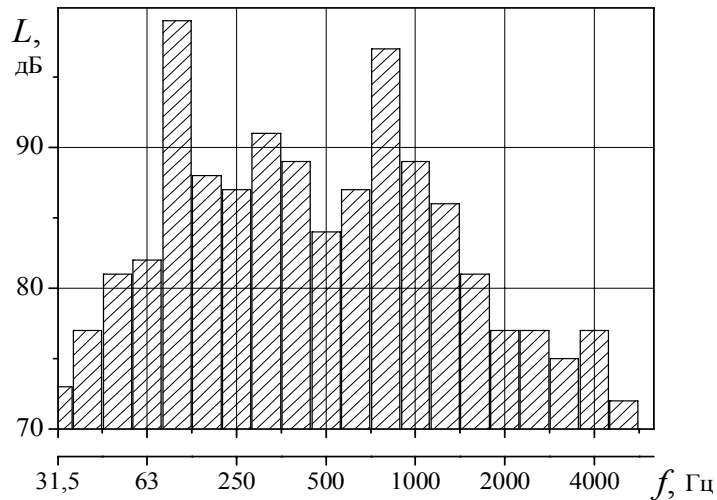
Шум, який виникає під час роботи двигуна і автомобіля в цілому, можна поділити на дві групи – аеродинамічний і механічний. Випромінюється він великою кількістю джерел.



Аеродинамічний шум виникає в результаті газообміну в двигуні під час процесів впуску свіжого заряду і випуску відпрацьованих газів, а також в результаті взаємодії лопатів вентилятора з повітрям.

Механічний шум спричиняють процес згорання і динамічні процеси в кривошипно-шатунному механізмі, газорозподільчому механізмі, системі мащення, системі охолодження, живлення тощо.

Аеродинамічний шум передає повітряне середовище, механічний шум – зовнішня поверхня двигуна і агрегати автомобіля.



**Рис. 4.13.** Спектр шуму легкового автомобіля під час руху в режимі розгону

Шум автомобіля є типовим широкосмуговим шумом.

Для прикладу на рис. 4.13 показано спектр шуму і його величини для легкового автомобіля під час руху в режимі розігнання до швидкості 60 км/год з середнім прискоренням  $0,8 \text{ м/с}^2$  в смугах частот  $1/3$  октави.

#### *Нормування і методи вимірювань шуму автомобіля і двигуна*

Розрізняють зовнішній і внутрішній шум автомобіля. Зовнішній шум автомобіля – одне з основних джерел міського шуму. Близько 60–80 % шумового фону міст створює автомобільний транспорт. Транспортний шум в містах сягає 80–100 дБ. Нормування гранично допустимих рівнів шуму займає важливе місце в розробці заходів, спрямованих на зменшення шуму автомобілів.

Під час визначення внутрішнього шуму автомобіля за ГОСТ 27435-87 “Внутренний шум автотранспортных средств. Допустимые уровни и методы измерений” як оцінювальний показник встановлюють рівень звуку в дБА.

Допустимі рівні шуму різних типів автомобілів наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Допустимі рівні  $a_1$   $a_2$   $a_3$  і  $a_4$  шуму різних типів автомобілів

Тип автомобіля	Рівні звуку автомобілів, дБА	
	виробництво до 01.01.91	виробництво після 01.01.91
Легкові і вантажні автомобілі	80	78
Вантажні автомобілі й автопоїзди для міжнародних і міжміських перевезень	82	80
Решта вантажних автомобілів і автопоїзди	84	82
Автобуси з переднім розташуванням двигуна:		
робоче місце водія	82	80
пасажирське приміщення	81	80
Автобуси з іншим розташуванням двигуна:		
робоче місце водія	78	78
пасажирське приміщення (крім міського автобуса)	82	80
пасажирське приміщення міського автобуса	84	82

**Примітки:**

1. Під вантажними автомобілями і автопоїздами для міжнародних і міжміських перевезень мають на увазі автомобілі, в яких є спальне місце.

2. Для модифікованих автомобілів допустимі норми встановлюють такими, як і для базових автомобілів.

Вимірювання проводять під час розгону автомобіля на вищій передачі до швидкості 120 км/год або швидкості, яка відповідає  $0,9 \dot{v}_{\text{ном}}$ , вибираючи найменше значення.

Якщо за частоти обертання  $0,9 \dot{v}_{\text{ном}}$  швидкість автомобіля перевищує 120 км/год, вимірювання проводять на нижчій передачі, але не нижче третьої, якщо коробка передач має чотири і більше передач, і не нижче другої, якщо коробка передач має менше чотирьох передач.

Починати змінювання треба з найменшої допустимої швидкості, але не нижче швидкості, яка відповідає  $0,45 \dot{v}_{\text{ном}}$ . У разі, коли за частоти  $0,9 \dot{v}_{\text{ном}}$  швидкість на вибраній передачі перевищує 120 км/год, початкова швидкість автомобіля повинна становити 60 км/год.

Вимірювання рівня шуму здійснюють в таких точках (рис. 4.14):

- поблизу крісла водія;
- поблизу крісла водія, а також над останнім рядом крісел (поблизу крісла, розташованого ближче до поздовжньої вісі симетрії автомобіля) в автомобілі з числом місць для сидіння не більше 9;

- поблизу крісла водія, а також над першим місцем для сидіння (за кріслом водія) і останнім рядом крісел в автомобілі з числом місць для сидіння більше 9;

- в автомобілі з числом рядів крісел більше 3 (за кріслом водія) додатково здійснюють вимірювання над середнім рядом крісел.

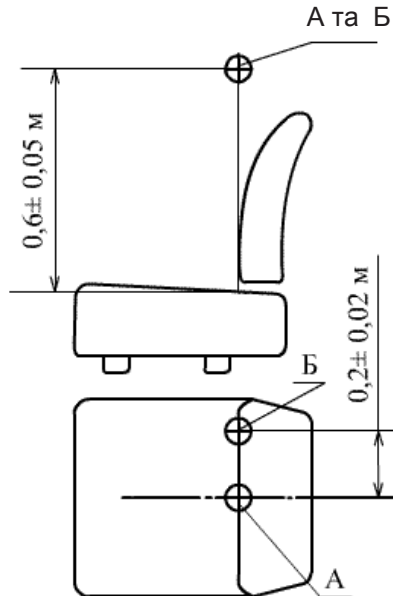


Рис. 4.14. Схема розташування мікрофону в середині салону

Комітетом транспорту Європейської економічної комісії ООН прийняті Правила № 51, в яких рекомендовані міжнародні норми щодо обмеження зовнішнього шуму, спричиненого автотранспортними засобами. На підставі цих Правил створено національні стандарти ДСТУ UN/ECE R 51-01-2002 “Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів, що мають не менше ніж чотири колеса, стосовно створюваного ними шуму” (Правила ЕЭК ООН № 51-01:1996, IDT).

У 1994 р. ЄЕК ООН прийнято нову поправку 02 до Правил № 51 на допустимі рівні зовнішнього шуму, що створюють транспортні засоби. Чинність в Україні ці Правила отримали впровадженням ДСТУ UN/ECE R 51-02-2002 “Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів, що мають не менше ніж чотири колеса, стосовно створюваного ними шуму” (Правила ЕЭК ООН № 51-02:1996, IDT). Як оцінювальний показник рівня зовнішнього шуму встановлено рівень звуку в децибелах за коригувальною шкалою А (табл. 4.9 та 4.10).

Автомобілі, крім легкових і вантажопасажирських, з механічною коробкою передач, виробництво яких розпочато до 01.01.87, випробовують на другій передачі, якщо коробка має чотири і менше

передач переднього ходу. Якщо коробка передач має більше чотирьох передач переднього ходу, випробування проводять на третій передачі.

Легкові і вантажопасажирські автомобілі з механічною коробкою передач випробовують на другій передачі незалежно від кількості передач переднього ходу.

В автомобілів з додатковою коробкою передач з ручним керуванням або головною передачею з декількома передатковими відношеннями необхідно включати передачу, що забезпечує найвищу швидкість руху. Ведучі мости, які можуть відключатися, мають бути відключеними.

Таблиця 4.9

### Допустимі рівні зовнішнього шуму різних типів автомобілів

Тип авт
Легкові і вантажопаса...
Автобуси з повною м нами потужністю, кВт:
– менше 150
– 150 і більше
Автобуси і вантажні а сою кг:
– не більше 2000
– 2000, але менше
Вантажні автомобілі масою більше 3500 ністю, кВт:
– менше 75
– 75 і більше, а
– 150 і більше

#### Примітки:

1. Потужність двигуна – номінальна потужність нетто за ГОСТ 14846-61.
2. Для автомобілів з повною масою більше 3500 кг допускається перевищення рівня шуму на 1дБА, якщо на автомобілі встановлено дизель з безпосереднім впорскуванням палива.
3. Для повнопривідних автомобілів з повною масою більше 2000 кг допускається збільшення рівня шуму на 1дБА, якщо потужність двигуна менше 150 кВт, і на 2 дБА, якщо потужність двигуна 150 кВт і більше.



Таблиця 4.10

**Допустимі рівні зовнішнього шуму,  
що створює транспортний засіб**

Тип автомобіля	Рівень шуму, дБ
Легкові і вантажопасажирські автомобілі	74
Автобуси і вантажні автомобілі з повною масою не більше 2000 кг	76
Автобуси і вантажні автомобілі з повною масою більше 2000, але менше 3500 кг	77
Автобуси з повною масою 3500 кг і з двигунами потужністю:	
– менше 150 кВт	78
– 150 кВт і більше	80
Вантажні автомобілі і автопоїзди з повною масою більше 3500 кг і з двигунами потужністю:	
– менше 75 кВт	77
– 75 кВт і більше, але менше 150 кВт	78
– 150 кВт і більше	80

Автомобілі з механічною коробкою передач, з автоматичною коробкою передач з ручним переключенням керування, без коробки передач повинні наближатися до початку ділянки вимірювання зі сталою швидкістю, найменшою з наступних швидкостей:

- що відповідає 3/4 номінальної частоти обертання колінчатого вала двигуна;
- 50 км/год.

В автомобілі з автоматичною коробкою передач із ручним переключенням, керуванням, яка має більше двох передач, з метою уникнення включення першої знижуючої передачі можна або збільшити початкову швидкість до 60 км/год, або зменшити подачу палива до 95 % від необхідної подачі за повного навантаження. Останню умову вважають виконаною, якщо кут відкриття дросельної заслінки або переміщення регулятора паливного насоса становить не менше 90 % їх максимального значення. Збільшення початкової швидкості чи зменшення подачі палива повинно відмічатися у протоколі випробувань.

Автомобілі з автоматичною коробкою передач без ручного переключення мають наближуватися до початку ділянки, на якій проводить вимірювання, з усталеними швидкостями 30, 40, 50 км/год. За результат приймають найбільше значення, отримане під час вимірювань на вказаних швидкостях.



Рис. 4.15. Схема ділянки для вимірювання зовнішнього шуму

Рух автомобіля на ділянці дороги, де здійснюють вимірювання (див. рис. 4.15), має здійснюватись з інтенсивним розігнанням у двох напрямках. У момент перетинання передньою частиною автомобіля лінії AA треба різко натиснути на педаль дросельної заслінки або подачі палива. Педаль різко відпускають в момент перетинання задньою частиною автомобіля лінії BB, не зважаючи на наявність нерозчіплювального причепа або напівпричепа.

Гранично допустимі норми шуму автомобільних двигунів регламентовані галузевим стандартом ОСТ 37.001.266-83 "Шум автомобильных двигателей. Допустимые уровни и методы измерений".

Відповідно до цього ОСТу як оцінювальні показники шумових характеристик встановлюють:

- рівень звукового тиску  $L_A$  в дБА, який є основним оцінювальним показником;
- рівень звукового тиску  $L_p$  в дБ в октавних смугах частот з середньгеометричними частотами від 125 до 8000 Гц;
- рівень звукової потужності  $L_N$  в дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами від 125 до 8000 Гц;
- корегований рівень звукової потужності  $L_N$  в дБА.

Останній показник використовують у разі порівняння шумових характеристик двигунів різних конструкцій.

Допустимі рівні звуку для двигунів, виробництво яких розпочато 01.07.84 р., під час роботи двигуна з повним навантаженням на різних частотах обертання колінчастого вала, не повинно перевищувати значень, наведених на рис. 4.16.

Випробування двигуна проводять у звукоізолюванні камері. Кількість точок, в яких проводять вимірювання, має бути не менше 8 (див. рис. 4.17).

1. – для дизелів без наддуву і з наддувом;
2. – для двигунів з іскровим запалюванням легкових автомобілів і вантажних автомобілів повною масою до 3,5 т включно;
3. – для двигунів з іскровим запалюванням вантажних автомобілів повною масою більше 3,5 т і автобусів.

Рис. 4.16. Допустимі рівні звуку двигунів різних типів

За результатами випробувань визначають середній рівень звуку  $L_{тА}$ , дБА і середній рівень звукового тиску  $L_{тр}$ , дБ в октавних смугах частот.



Рис. 4.17. Розташування точок на поверхні вимірювання

За принципом дії глушники поділяють на: щілинні активні, активні грибоподібного типу, резонансні; активно-резонансні; соплові; з розширювальними камерами (камерні), активно-резонансні у сполученні із камерними чи щілинними.

На автомобільних і тракторних двигунах в системах впуску найбільш поширені глушники з розширювальними камерами, які конструктивно поєднують із корпусом повітряного фільтру. Камерні глушники системи впуску складаються з розширювальної камери, поєднаної з повітропроводами.

Глушник пропускає звукові коливання нижче якоїсь граничної частоти і поглинає коливання, частота яких вище граничної. Об'єм розширювальної камери вибирають таким чином, щоб поперечний її розмір був меншим половини довжини хвилі приглушеного звуку. Граничні частоти системи впуску встановлюють 25 Гц, для систем випуску – 100–120 Гц.

Для зменшення шуму випуску відпрацьованих газів більшого поширення набули камерно-резонансні і камерні з перфорованими елементами активного глушення.

Зменшити механічний шум, який створює двигун і усі агрегати автомобіля, можна їх конструктивним удосконаленням або впровадженням сучасних технологій.

Відомо, що в результаті високої частоти обертання колінчастого валу та інших деталей навіть незначна незбалансованість мас може викликати значні вібрації, що призведуть до підвищення шумності автомобіля.

Тому дуже важливо, щоб усі деталі і вузли, які приймають участь у зворотно-поступальному і обертальному рухах, були динамічно збалансовані (зрівноважені).

Знизити шум кривошипно-шатунного і газорозподільчого механізмів можна застосуванням кришки газорозподільчого механізму та піддона картеру з металопластикових матеріалів із високим внутрішнім тертям. Зменшення шуму відбувається в результаті перетворення звукової енергії в теплову.

З метою зменшення загального шуму, який створює двигун, використовують шумопоглинальні покриття поверхонь корпусних деталей двигуна, встановлюють двигун у шумопоглинальні камери.

Для зменшення шуму агрегатів трансмісії впроваджують різні конструктивні і технологічні заходи.

Наприклад, застосування складеної карданної передачі з введенням проміжної опори – раціональний метод боротьби з вібрацією і з підвищеним шумом.

Для зменшення шуму зубчастого зачеплення застосовують спеціальну обробку зубів шестерень. Для зменшення шуму підшипників підвищують точність їх виготовлення.

Шум агрегатів трансмісії особливо зростає, якщо частоти власних коливань окремих елементів співпадають з частотами вимушених коливань. Тому необхідно змінювати жорсткість або вагу елементів трансмісії і, таким чином, змінювати власну частоту коливань або зменшувати рівень вібрації шляхом їх демпфування.

Рівень шуму автомобільних шин – найвагомійший фактор, що заважає зменшити шум автомобіля, особливо під час руху з великими швидкостями.

Шум автомобільних шин визначається такими факторами: витіканням стисненого повітря між поверхнею шини в нерівностях дороги; вібрацією, що викликана нерівностями дороги і нерівномірною радіальною жорсткістю шин; турбулентними потоками повітря, що обтікають поверхні шин.

Під час руху автомобіля радіальні шини спричиняють шум дещо менший, ніж діагональні з таким же візерунком. Шум шини з закритими порожнинами у візерунку протектора вищий за поперечний розчленований візерунок. Найменш шумні шини – з поздовжніми ребрами.

Зменшення аеродинамічного шуму автомобіля, яке виникає в результаті обтікання його зустрічним потоком повітря, досягають створенням найраціональніших форм кузова автомобіля, що забезпечить меншу турбулізацію повітряних потоків.

Зменшення внутрішнього шуму автомобіля досягають нанесенням на внутрішню поверхню кузова спеціальних звукопоглинальних матеріалів.

#### **4.4. Вібрація автомобіля і шляхи її зменшення**

Основним джерелом виникнення транспортної вібрації є коливання, спричинені незрівноваженими силами інерції мас, які здійснюють обертальний і зворотно-поступальний рух, що виникають у вузлах, в агрегатах автомобіля, а також коливання, що виникають через нерівності дорожнього покриття. Коливання передають агрегати і підвіска на кузов автомобіля і впливають на водія та пасажирів. Коливання, які під час руху автомобіля дорожнім покриттям передаються на ґрунт, впливають на будови і споруди, розташовані в безпосередній близькості до доріг.

За способом передавання вібрації на людину розрізняють загальну вібрацію, яку сприймають опорні поверхні, і місцеву (локальну), яку сприймають руки.

За напрямом дії вібрацію розрізняють: вертикальну, що поширюється вздовж осі x, перпендикулярної до опорної поверхні; горизонтальну, спрямовану по осі y від спини до грудей та горизонтально спрямовану по осі z від правого до лівого плеча.

За часовими характеристиками вібрацію розрізняють: постійну, для якої спектральний параметр (частота) за час спостереження змінюється не більше ніж у два рази (до 6 дБ), і непостійну, для якої цей параметр змінюється за час спостереження більше ніж у два рази (понад 6 дБ).

Як загальна, так і локальна вібрації викликають в організмі людини різні патологічні зміни. Під впливом вібрації зменшується працездатність, а значить і продуктивність праці. До того ж вібрація призводить до виникнення вібраційної хвороби, прояви якої полягають у змінах нервової та кістково-суглобової систем. Це спричиняє збільшення енергетичних втрат організму на виконання роботи, відбувається втрата ваги і зменшення м'язової сили, підвищується артеріальний тиск, порушується гострота зору і слуху, послаблюється пам'ять і увага, виникають спазми судин серця, збільшується втомлюваність.

Підсилює негативний вплив вібрації на організм людини резонансний ефект, що виникає в тілі людини, який настає при збільшенні частоти коливання більше 0,7 Гц.

Допустимі рівні транспортної вібрації встановлюють ГОСТ 12.1.012-90 "Вибрационная безопасность. Общие требования". Згідно з цим стандартом нормованими параметрами вібрації встановлено: середньоквадратичні значення віброшвидкості  $V$  (м/с) і віброприскорення  $a$  (м/с<sup>2</sup>), а також логарифмічні рівні віброшвидкості  $L_v$  і віброприскорення  $La$ , що визначають в октавних діапазонах із середньгеометричними значеннями частот. Для загальної вібрації  $f = 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63$  Гц, а для локальної  $f = 8, 16, 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000$  Гц.

Рівні віброшвидкості і віброприскорення визначають за залежностями, дБ

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}}$$

(4.9)

де  $V$  – середнє квадратичне значення віброшвидкості, м/с,

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{10^{-6}}, \quad (4.10)$$

де  $a$  – середнє квадратичне значення віброприскорення,  $\text{м/с}^2$ .  
 Оцінюючи вібраційне навантаження на водія, перевагу віддають віброприскоренню. З огляду впливу вібрації на людину, окрім віброшвидкості і віброприскорення, необхідно зважати на величину амплітуди коливань, частотний спектр коливань і тривалість впливу. Санітарні норми загальної і локальної вібрації наведено в табл. 4.11 і 4.12. Норми спектральних показників вібраційного навантаження на водія наведено для тривалості дії 8 годин.

Таблиця 4.11

**Санітарні норми вібрації в октавних смугах частот**

Середньгеометрична частота смуг, Гц	Нормативні значення віброприскорення			
	м·с <sup>-2</sup>		дБ	
	z	x,y	z	x,y
1	1,1	0,39	121	112
2	0,79	0,42	118	113
4	0,57	0,8	115	118
8	0,6	1,62	116	124
16	1,13	3,2	121	130
31,5	2,25	6,4	127	136
63	4,5	12,8	133	142
Середньгеометрична частота смуг, Гц	Нормативні значення віброшвидкості			
	м·с <sup>-1</sup> ·10 <sup>-2</sup>		дБ	
	z	x,y	z	x,y
1	20,0	6,3	132	122
2	7,1	3,5	123	117
4	2,5	3,2	114	116
8	1,3	3,2	108	116
16	1,2	3,2	107	116
31,5	1,1	3,2	107	116
63	1,1	3,2	107	116

Таблиця 4.12

**Санітарні норми вібрації в октавних смугах частот**

Середньогометрична частота смуг, Гц	Нормативні значення			
	віброприскорення		віброшвидкість	
	м·с <sup>-2</sup>	дБ	м·с <sup>-1</sup> ·10 <sup>-2</sup>	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85	159	1,4	109

Для зменшення вібрації двигуна і агрегатів трансмісії найбільш доцільним є конструктивне збільшення жорсткості валів, ретельне їх балансування, поліпшення якості зачеплення зубчастих коліс, уникнення резонансу коливальних систем, покращання якості виготовлення підшипників, застосування амортизаторів і еластичних підвісок.

Найефективнішим методом боротьби з вібрацією, що отримав широкого поширення у світовому автомобілебудуванні, є застосування різного роду динамічних поглиначів енергії коливань – резинових чи полімерних вставок, а також нанесенням на віброуючі деталі різних покриттів з високим коефіцієнтом внутрішніх втрат, здатних поглинати енергію механічних коливань і перетворювати її в теплову.

Під час руху автомобіля його підвіска має забезпечувати необхідну плавність коливань, за якої рівень вібрації, що впливає на водія, не повинен перевищувати порогу зменшення комфортності.

**4.5. Електромагнітне випромінювання автомобілів**

Природа електромагнітного випромінювання пов'язана з вихровими електричними і магнітними полями, які взаємно породжують і підсилюють одне одного. Через те, що ці поля нероздільно пов'язані між собою, їх загальна назва "електромагнітні".

Електромагнітні поля поділяють на природні і штучні. До природних належить, в першу чергу, магнітне поле Землі. Джерелами



штучного електромагнітного поля є різні радіопередавальні прилади, електрифіковані транспортні лінії, лінії електропередач, автомобілі тощо.

Нового значення проблема електромагнітних полів набуває в умовах швидкого розвитку електротранспорту, в тому числі і електромобілів, а також розвитком електронних систем управління автомобілем.

Уже зараз електромагнітне поле території міст на 18–32 % формує автомобільним транспортом.

Електромагнітні поля з високою щільністю енергії можуть викликати шкідливий вплив безпосередньо на організм людини. Шкідливий вплив електромагнітного поля на людину пов'язаний з перенесенням енергії.

Міру впливу визначає кількість електромагнітного випромінювання залежно від частоти і довжини хвилі.

Взагалі, більшість живих клітин є аномальними діелектриками, які мають деяку іонну провідність. Із зменшенням довжини хвилі тканини організму втрачають властивість діелектриків і стають провідниками.

Залежно від характеру випромінювання і виду тканини частина енергії електромагнітного випромінювання, що поглинається, перебуває в межах 20–100 %. Ця енергія, яку сприйняла на себе тканина органу, перетворюється в теплову. Отримана таким чином надмірна теплота шкіряним покривом інтенсивно розсіюється в оточуючому середовищі і не є небезпечною. Якщо ж відбувається поглинання енергії внутрішніми органами (нирки, серце, мозок, очі), які мають слаборозвинений механізм терморегуляції, то збільшення температури цих органів навіть на один градус призводить до незворотних негативних наслідків.

В результаті впливу електромагнітних полів збільшується загальна втомлюваність, з'являється біль у суглобах, головний біль. Електромагнітні поля підвищеної напруженості здатні викликати у людини порушення орієнтації. На сучасному рівні розвитку медицини все частіше з'являються такі методи лікування, що пов'язані із застосуванням різних електронних стимуляторів, які встановлюються в організмі людини, і знаходження такої людини в полі дії потужного чи несправного електромагнітного джерела може призвести до небажаних, а іноді і трагічних наслідків.

Нормативні документи встановлюють допустимий рівень електромагнітних полів, що впливає на населення, залежно від частоти випромінювання.

Окрім безпосереднього впливу на організм людини, електромагнітні випромінювання погіршують якість радіо- і телепередач. В цьому випадку їх розглядають як радіозавади. Проте останнього часу широкого розвитку набули системи автоматичного управління транспортним засобом і транспортними потоками, і небажаний вплив електромагнітних випромінювань може порушувати роботу цих систем.

Електромагнітні хвилі є поперечними, тому що вектори напруженості електричного поля  $E$  і магнітного поля  $H$  коливаються у взаємно перпендикулярних площинах. Під час розповсюдження електромагнітних хвиль здійснюється перенесення енергії в просторі (швидкість поширення у вакуумі дорівнює швидкості світла  $C = 3 \cdot 10^8$  м/с).

Важливим параметром електромагнітних хвиль є частота електромагнітних коливань  $f$ . Між швидкістю поширення і частотою коливань існує зв'язок  $C = \lambda \cdot f$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі, м.

Для характеристики електромагнітних випромінювань використовують частоту коливання або довжину хвилі і напруженість поля у вольтгах (В), а також щільність потоку енергії у ватах на квадратний метр (В/м<sup>2</sup>).

До останнього часу автомобіль розглядали лише як джерело радіовад, характеристикою його є напруженість поля радіовад, яку вимірюють у децибелах відносно значення = 1 мкВ/м

$$L_E = 10 \lg \frac{E}{E_0}, \quad (4.11)$$

де  $E$  – вимірювана потужність поля, мкВ/м.

Інтенсивність електромагнітного випромінювання автомобіля обумовлюють конструктивні і експлуатаційні фактори. Важливу роль відіграє тип двигуна (бензиновий чи дизель), компоновка автомобіля, ступінь стискання, розміщення розподільника і котушки запалювання, наявність додаткових двигунів, використання пластикових матеріалів, розмір і форма відсіку для двигуна та інше.

Значну роль відіграє технічний стан пристроїв, які створюють електромагнітні поля, наявність спеціальних екранованих з'єднань.

В автомобілі, на якому встановлено двигун з іскровим запалюванням, найбільшу інтенсивність електромагнітного випромінювання спричиняють прилади системи запалювання, другу групу складають прилади електричного живлення (генератори постійного і змінного струму, регулятори напруги, датчики та інше).

Основним джерелом електромагнітного випромінювання автомобіля є система запалювання і, в першу чергу, свічки запалюван-

ня, розподільник, високовольтні провідники. Вони є первинними випромінювачами електромагнітних хвиль, а кузов, капот, дах, крила, відсік двигуна – вторинними. Напруженість поля бензинового двигуна – 40–60 дБ.

Автомобілі з дизелями мають значно меншу інтенсивність електромагнітних випромінювань — 28–32 дБ.

До основних заходів щодо зменшення рівня електромагнітного випромінювання на стадії проектування і виготовлення автомобілів належить підвищення екрануючої здатності кузова автомобіля і застосування пристроїв для зменшення вад радіо- і телеприйому. В сучасних конструкціях кузова важливу роль відіграють надійні з'єднання і матеріали, з яких вони виготовляються.

Для зменшення електромагнітного випромінювання крізь щілини між капотом і крилами кузова автомобіля в місцях їх з'єднання встановлюють спеціальні контактні пружини або використовують з'єднання спеціальної конструкції.

Для зменшення електромагнітних випромінювань від приладів системи запалювання використовують спеціальні високовольтні дроти, в наконечниках свічок встановлюють резисторні опори від 1 до 10 кОм.

Для зменшення радіовад до мінімуму в окремих конструкціях автомобілів здійснюють індивідуальне екранування усіх приладів системи запалювання.

Під час руху в транспортному потоці потужність електромагнітних випромінювань окремих автомобілів підсилюється, і це призводить до перевищення допустимого рівня випромінювань, стає ще більшою завадою роботи радіо- і телеапаратури, а також різних електронних пристроїв.

#### *Захист електронної апаратури автомобіля від електромагнітних випромінювань*

З розширенням використання електроніки на автомобілях одночасно розробляють способи зменшення шкідливого впливу електромагнітного випромінювання.

Одним із таких способів є встановлення електронного обладнання (мікропроцесора і інше) якнайдалі від джерел електромагнітного випромінювання.

У складних електронних пристроях використовують спеціальні мікросхеми, більш стійкі до впливу електромагнітних вад. Це К/МОП мікросхеми і n-канальні МОП мікросхеми (комплементарні структури метал-оксид-напівпровідник).

На сьогодні широко застосовують екранування електронних приладів. Окремо екранують і з'єднують з масою з'єднувальні провідники, а найскладніші блоки повністю розташовують в алюмінієвих коробках чи екранують магнітним матеріалом. Через магнітний матеріал електромагнітні хвилі не здатні проникнути всередину і впливати на прилади. Для захисту електроніки інколи використовують високочастотні (ВЧ) конденсатори, які з'єднують з ВЧ-землею (наприклад автомобілі фірми GM).

Визначення впливу електромагнітного випромінювання на складні електронні прилади автомобіля здійснюють у спеціальній камері, яка, як правило, складається із двох камер. В одній визначають вплив частот від 0 до 20 МГц, а в другій – до 18 ГГц.

В камері автомобіль опромінюють в діапазоні усіх частот і визначають, які бортові прилади мають найменшу стійкість до електромагнітних вад. При цьому можливо визначити роботу двигуна в цілому або окремого вузла чи агрегату, що містить електроніку.

#### **4.6. Забруднення продуктами зношування автомобілів**

В процесі руху автомобілів в навколишнє середовище надходять продукти зношування, які суттєво забруднюють його. Утворюються ці продукти внаслідок тертя деталей між собою під час роботи.

Основні джерела такого виду забруднення: деталі двигуна та трансмісії, гальмові колодки, шини.

Що стосується спрацьовування деталей двигуна і трансмісії, то зменшувати його можна своєчасним змащуванням якісними мастилами і використанням рекомендованих для даного транспортного засобу олив з дотриманням періодичності заміни оливи в змащувальних системах.

Традиційним матеріалом для виробництва гальмівних колодок завжди був азбест. Це волокнистий мінерал, що має унікальні властивості, такі як термостійкість, міцність, еластичність, яких не мають інші природні матеріали. Проте азбестовий пил, що утворюється під час експлуатації, визнано дуже шкідливим для здоров'я людини. Він потрапляє в органи дихання і не виводиться з організму, накопичується і спричиняє захворювання. В багатьох розвинутих країнах світу застосування азбесту в будь-яких галузях заборонено законодавчо.

Як заміників азбесту запропоновано композиційні матеріали, в яких роль азбесту виконують сталеві волокна.

За результатами проведених випробувань встановлено, що вони мають задовільний рівень ефективності гальмування, хорошу стабільність його ефективності в процесі нагрівання і хороший рівень зносостійкості. Разом з тим замітники азбесту мають підвищену теплопровідність, здатні створювати підвищений шум, а також можуть відшаровуватися від опори. Встановлено, що ресурс таких фрикційних накладок в 1,2–1,5 разів перевищує ресурс серійних накладок на основі азбесту.

Безазбестові накладки для різних типів автомобілів перебувають на різних стадіях виробництва, але більшість вже пройшли цикл стендових випробувань, налагоджене їх серійне виробництво і отримано сертифікат якості.

Це не єдиний приклад заміни азбесту в автомобілебудуванні, і роботи в цьому напрямку проводять різні фірми.

Значну частину забруднення довкілля продуктами зношування автомобіля складають продукти зношування шин.

Розрахунки, виконані ДержавтотрансНДІпроектотом Мінтранса України, показали, що кожний легковий автомобіль до повного зношення рисунка протектора комплекту шин викидає в навколишнє середовище в середньому 14,2 кг гумового пилу, а вантажний автомобіль чи автобус (з колісною формулою 4x2) – 92,2 кг. Разом з тим, інтенсивність викидання гумового пилу у автомобілів із шинами, які відновлені методом накладання нового протектору, у 2 рази більша, ніж у серійних. За орієнтовними розрахунками, вантажні автомобілі АТП середньої потужності протягом року викидають у атмосферу близько 30 тонн гумового пилу. До його складу входять шкідливі речовини, які поширюються у ґрунті й атмосфері. Основних компонентів чотири: каучук, сажа, смоли і мастила. Встановлено, що приблизно 10 % цього пилу (природній каучук) розпадається, і переробляється бактеріями, які є в ґрунті та включаються у кругообіг вуглецю. Синтетичний каучук становить 38 % маси шини, стійкий до атмосферних умов і мікроорганізмів, тому не відбувається його надходження у природній кругообіг. Вважається, що під впливом кисню і ультрафіолетового випромінювання його молекули розпадаються, і відбувається це значно швидше, ніж у компактному гумовому виробі. Сажа, яка за масою становить 25–30 % продуктів зношування, забруднює атмосферу, затримуючись у повітрі впродовж 8 діб, погіршуючи тим самим видимість на дорогах та впливаючи на органи дихання людей, як будь-який пил. За своїм хімічним складом сажа має розкладатися, але конкретних даних про ці процеси поки нема. Через наявність цього пилу після дощу дороги стають дуже слизькими і небезпечними.

Одним із найбільш ефективних шляхів зниження утворення продуктів зношування шин є виконання вимог правильної експлуатації, тобто систематичний контроль тиску в шинах, перевірка установки кутів розвалу і збіжності керованих коліс, своєчасне переставляння коліс тощо.

#### 4.7. Виробничі відходи автотранспортних підприємств та шляхи їх утилізації

##### Джерела утворення виробничих відходів АТП

У процесі експлуатації технічного обслуговування і ремонту рухомого складу автотранспорту на АТП утворюються різні промислові відходи, які за певних умов чинять шкідливий вплив на довкілля. На рис. 4.18 наведено структурну схему основних виробничих відходів АТП.



Рис. 4.18. Структура виробничих відходів АТП

Визначено і в АТП широко впроваджують заходи щодо зменшення шкідливого впливу виробничих відходів на навколишнє середовище.

### *Спрацьовані нафтопродукти*

До складу спрацьованих нафтопродуктів входять спрацьовані моторні оливи, трансмісійні оливи, консистентні мастила, індустріальні мастила, а також нафтопродукти, якими миють агрегати і вузли.

Дослідження показали, що об'єм спрацьованих олив і мастил залежно від модифікації автомобілів, їх технічного стану, умов роботи рухомого складу мають різний склад і можуть становити від 13 до 33 % витрати свіжих.

Раціональна організація збирання, зберігання і повторного використання на АТП спрацьованих нафтопродуктів має велике екологічне і економічне значення. Вона надає можливості не лише запобігати забрудненню довкілля нафтопродуктами, але і забезпечує раціональне споживання вихідної сировини їх виробництва – нафти.

Встановлено три групи збирання спрацьованих нафтопродуктів:

1. Оливи моторні спрацьовані – сюди входять і моторні оливи, які використовують в трансмісіях в суміші з індустріальними мастилами.

2. Мастила індустріальні спрацьовані – разом із виділеними із спрацьованих емульсій суміші індустріальних мастил, турбінних, компресорних і т. і.

3. Суміші нафтопродуктів спрацьовані – маються на увазі ті, що застосовують як миючі рідини: бензин, керосин, дизельне паливо, трансмісійні оливи і т. і.

Змішування спрацьованих олив і інших нафтопродуктів із продуктами ненафтового походження не допускається.

Для збирання відпрацьованих нафтопродуктів і їх заміни на автомобілях застосовують спеціальне обладнання: пересувні ємності, возики, деки тощо.

Найефективнішими є стаціонарні пости для заміни олив і промивання двигунів зі спеціальними пристроями, які надають можливості механізувати процес зливання спрацьованих олив і промивних рідин. З метою забезпечення якісного збирання спрацьованих олив і промивних рідин на АТП мають бути обладнані пункти збору. Розміщують їх при складах паливомастільних матеріалів або на постах заміни мастил і промивки двигунів.

Зібрані за групами нафтопродукти мають бути направлені на підприємства, які спеціалізуються на збиранні нафтопродуктів та їх подальшій переробці.

### *Стічні води*

До стічних вод відносять води, які в процесі використання забруднюються різними компонентами. Це води, що використовують в миючих установках для зовнішнього миття автомобілів та їх окремих агрегатів, на фарбувальних ділянках, а також дощові води, які забруднюють різні компоненти з території автопідприємства. Тому в загальному випадку стічні води в своєму складі мають нафтопродукти, поверхнево-активні речовини миючих засобів, залишки фарби і розчинників, а також пісок, глину та інші тверді частинки. Природно, що без відповідного очищення стічні води не можуть направлятися у водойми чи каналізацію та використовуватись в оборотному водопостачанні. Такі води мають відповідати певним санітарно-технічним вимогам, до яких відносяться:

- гранично-допустима концентрація (ГДК) нафтопродуктів має становити 25 мг/л;

- біохімічна потреба в кисні (БПК), тобто масова концентрація кисню, необхідна для окислення органічних речовин у стічних водах аеробними бактеріями при 20 °С, не повинна перевищувати 50 мг/л;

- хімічна потреба в кисні (ХПК), тобто масова концентрація кисню, необхідна для повного окислення забруднень, не повинна перевищувати БПК більш як у 1,5 рази;

- водневий показник кислотності та лужності рН має знаходитися в межах 6,6–8,5;

- загальна концентрація солей у стічних водах не повинна перевищувати 10 г/л;

- гранично допустимі концентрації синтетичних поверхнево-активних речовин – 20 мг/л.

Для забезпечення таких вимог стічні води автопідприємства проходять очищення на очисних спорудах. Основним у цьому процесі є очищення води, що використовувалась для мийки автомобілів. Як правило, процес очищення включає етапи очищення води від піску, глини та інших твердих частинок, очищення води від нафтопродуктів та утилізацію видалених забруднень. Розроблені типові проекти очисних споруд і установок. Схема однієї з таких установок моделі “Кристал”, яка була розроблена інститутом Мосводоканал-НДІпроект, широко використовувалась в автопідприємствах, показана на рис. 4.19.

Установка має приймальний резервуар 1 стічної води, насос 2, що подає стічні води, віброфільтр 3, бункер 4 для збирання осаду, блок очищення стічних вод від нафтопродуктів, який має камеру 6



грубого (первинного) очищення води, камеру 7 для остаточного очищення стічних вод, збиральника 5 чистої очищеної води, насос 11 з патрубком 12, що подає чисту воду в миючу установку, збиральник 8 нафтопродуктів з патрубками 9 – для відведення нафтопродуктів і 10 – для зливання води в осад.

Забруднена вода надходить в резервуар 1 стічних вод, коли рівень води в резервуарі досягне середнього датчика сигналізатора рівня, автоматично включається насос 2, далі вода під тиском 2,0–2,5 кгс/см<sup>2</sup> надходить трубопроводом у віброфільтр 3; після фільтрації з віброфільтра вода надходить у блок вторинного очищення від нафтопродуктів спочатку в камеру 6 грубого (первинного) очищення, а далі в камеру 7 для остаточного (вторинного) очищення, звідки вона потрапляє у збиральник 5 чистої води.

Осад у вигляді піску, мулу і т. і. накопичується в конусній частині віброфільтра 3, з якого його періодично видаляють в бункер 4 осаду.

В камері грубого очищення води проходить коалесценція (укрупнення частинок) емульсії і утворення прошарку нафтовідходів. Прискорення скидання нафтовідходів з поверхні води здійснюють подаванням стиснутого повітря; далі нафтовідходи самопливом надходять у збиральник 8, а звідти патрубком 9 на установку для спалювання.

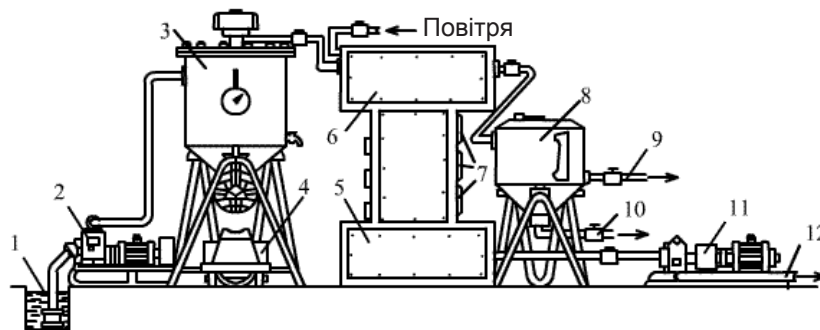


Рис. 4.19. Схема установки "Кристал" для очищення стічних вод

Очищена від нафтопродуктів вода з камери 6 грубого очищення надходить в камеру 7 остаточного очищення води. Воду, що пройшла остаточне очищення, зливають у збиральник 5 чистої води; коли рівень води в збиральнику 5 сягає датчика сигналізатора рівня води (на рисунку не зображено), включається насос 11 чистої води, який подає очищену воду в систему зворотного водопостачання.

Високу якість очищення води від завислих частинок досягають у віброфільтрі завдяки застосуванню касет, обтягнуті сіткою з розміром вічка 40 мкм, на якій затримуються частинки розміром 40 мкм і більше, що створюють робочий прошарок, крізь який фільтрується вода. Струшування касет вібратором забезпечує інтенсивне видалення частинок, що осіли, а завдяки автоматизації процесу струшування, яке здійснюється із зростанням гідравлічного опору води до певної межі, забезпечує підтримування оптимальної товщини робочого прошарку мулу, що гарантує ефективність очищення.

Одним із сучасних напрямків покращання очищення стічних вод миючих установок є біохімічне очищення води, яке дозволяє значно збільшити термін використання води при зворотному водопостачанні. Такий метод очищення води був розроблений і впроваджений в Жмеринському АТП. Суть методу полягає у використанні властивості води до самоочищення, яке здійснюють мікроорганізми, що є у воді і ґрунті. Після очищення забрудненої води від механічних домішок в очисних спорудах її подальше освітлення і біохімічне очищення здійснюють у відстійниках активним мулом – бактеріями. За даними, отриманими в названому автопідприємстві концентрацію нафтопродуктів зменшують з 10,8–16,4 мг/л до 1,2–1,5 мг/л, біохімічну потребу в кисні – з 88–244 мг/л до 4,2–7,5 мг/л.

#### *Спрацьований електроліт і свинцевий шлам*

На АТП у великих об'ємах зберігають сірчану кислоту для приготування електроліту акумуляторних батарей. У процесі ремонту батарей утворюється спрацьований електроліт – шкідлива для довкілля речовина, яка потребує нейтралізації.

При експлуатації акумуляторних батарей у них утворюється свинцевий шлам, який випадає з анодних пластин активної маси. На дно акумуляторних батарей попадають також свинцевий пил і шматочки крихких свинцевих пластин.

Середній вміст шламу у спрацьованій акумуляторній батареї становить від 15 до 25% її маси. До складу сухого шламу входить: свинцю 70%, сурми 1%, вісмуту 0,1% і міді 0,2%. Тому мийка акумуляторних банок в місцях, де можливе попадання у стічні води або ґрунт залишків відпрацьованого електроліту і свинцевого шламу, недопустима. Лом акумуляторного свинцю (як цінного металу) необхідно збирати.

Для нейтралізації кислот у відпрацьованих електролітів використовують будь-який лужний реагент. Найчастіше – вапно, вугле-

кислий кальцій і магній. Для збирання свинцевого шламу застосовують спеціальну установку для миття акумуляторних банок. Щоб запобігти забрудненню доквілля у процесі приготування та заливання в акумуляторні батареї електроліту також застосовують спеціальні установки.

#### *Відходи ацетиленових генераторів*

На АТП в результаті застосування ацетиленових генераторів для зварювання і різання металу утворюються відходи карбиду кальцію. Погано організоване збирання, зберігання і утилізація цих відходів призводить до забруднення ґрунту і стічних вод.

Зберігати відходи ацетиленових генераторів необхідно в металевих ящиках, конструкція яких надає можливості здійснювати завантажування транспортного засобу без втрат.

Відходи ацетиленових генераторів можуть використовуватись у будівництві при проведенні штукатурних робіт і біління. Використання вказаних відходів не дає великої економії будівельних матеріалів, але сприяє раціональній утилізації, що запобігає попаданню цієї шкідливої речовини у ґрунт і водойми у разі вивезення відходів у відвали.

Для повної ліквідації на АТП відходів ацетиленових генераторів необхідно переходити на централізоване забезпечення ацетиленом.

#### *Спрацьована гальмівна рідина*

Для запобігання попадання гальмівної рідини в навколишнє середовище необхідно в автопідприємстві використовувати для прокачування гальмівної системи автомобіля свіжою гальмівною рідиною спеціальну установку.

Зливу при цьому відпрацьовану гальмівну рідину відстоюють і очищену частково використовують повторно, а забруднену – утилізують.

#### *Спрацьовані антифриз і вода з систем охолодження*

Через розширення використання в системах охолодження автомобільних двигунів рідин, що замерзають за низьких температур (антифризів), які містять отруйну речовину етиленгліколь, виникає небезпека забруднення ним ґрунту і стічних вод. Тому на АТП має бути налагоджено збирання, зберігання і утилізація спрацьованих антифризів.

Для перевезення і зберігання як свіжих, так і спрацьованих антифризів застосовують металеві бочки чи балони з пробками чи кришками, які щільно закриваються. На тарі, в якій зберігають антифриз, обов'язково має бути напис "Отрута" і знак отруйної речовини.

На АТП, не устаткованих засобами прогрівання двигуна при зберіганні автомобілів на відкритих стоянках в зимовий період, воду зливають у ґрунт. Ця вода містить сполуки заліза й інших металів, які утворюються внаслідок корозії деталей системи охолодження двигуна. Масове зливання води з систем охолодження призводить до забруднення ґрунту цими сполуками. З огляду раціонального використання води, усунення забруднення ґрунту і водою шкідливими речовинами, які у ній містяться, а також зменшення утворення накипу в системі охолодження двигуна таку воду доцільно використовувати повторно.

#### *Спрацьовані фільтри і брудне ганчір'я*

Після технічного обслуговування і поточного ремонту автомобілів на АТП накопичується велика кількість спрацьованих фільтруючих елементів, а також брудного ганчір'я.

Фільтруючі елементи з фільтрів, які знімають з автомобіля, містять моторні оливи. Наприклад, різниця за масою між відпрацьованим і новим фільтрувальним елементом становить від 160 до 250 г.

У зонах обслуговування і ремонту автомобілів має бути налагоджена чітка організація збирання таких елементів і використання ганчір'я. Зберігають названі відходи в закритих металевих ящиках під накриттям з метою запобігання попадання в них атмосферних опадів і подальшим забрудненням зливових вод нафтопродуктами.

Найефективнішим заходом утилізації спрацьованих фільтруючих елементів і брудного ганчір'я є спалювання в котельнях.

#### *Автотранспортні засоби, що відпрацювали свій строк, і їх складові*

Шляхи утилізації наведених вище виробничих відходів відомі і широко використовуються. В останній час значну увагу приділяють розробленню методів утилізації зношених автомобілів і їх вузлів.

В 1992 році в м. Базелі (Швейцарія) проведено спеціалізований симпозиум, присвячений питанню утилізації старих автомобілів. Рішення цієї важливої з огляду екології задачі можливе, якщо її ви-

рішення буде враховуватись на стадії розроблення нових моделей автомобілів і вибору матеріалів їх вузлів. Такий принцип прийнятий провідними автомобільними фірмами світу.

Наприклад, 87 % загальної маси вантажного автомобіля фірми Scania, який складається приблизно з 8 тис. деталей, після закінчення строку служби може надходити до повторного використання. Як приклад можна розглянути автомобіль марки R113H 4x2. Його маса близько 5,9 т. Матеріали розподіляються так: сталь – 2400 кг; чавун – 1300 кг; сталевий лист – 1200 кг; гума – 600 кг; алюміній – 130 кг; пластмаси – 30 кг; свинець – 50 кг; мідь – 30 кг; лаки – 30 кг; цинк – 4 кг. Після зняття з експлуатації автомобіля і його розбирання на повторну переробку надходять чорні метали, алюміній, свинець і мідь. Пластмаси і гума можуть перероблятися з витримуванням вимог охорони довкілля, якщо точно відомо їх склад. Фірма Scania ввела маркування деталей з гуми і пластмас у відповідності до німецьких стандартів VDA260. Для зменшення впливу лаків і їх розчинників останнього часу використовують нанесення лаків напилуванням і використання лаків на водній основі.

Аналогічні роботи проводить фірма Volkswagen, зокрема на легкових автомобілях Golf, в яких усі пластмасові деталі також мають маркування, 60 % з них виготовлені з матеріалів, придатних до повторного використання.

Таким чином визначили і застосовують найефективніші методи утилізації і цього типу виробничих відходів автомобільного транспорту.

Важливим з екологічної та техніко-економічної точок зору є раціональне використання зношених автомобільних шин, які містять дефіцитну полімерну сировину (каучук), метал, технічний вуглець та інші наповнювачі. Традиційно зношені шини поновлюють накладанням нового протектора, ті шини, які не підлягають такому використанню, подрібнюють з подальшим виготовленням з кришки різних виробів, а також добавкою її в дорожні покриття.

Використовують зношені шини цілими у спорудах для захисту берегів річок і морів від ерозії як бар'єри та огорожі автомобільних доріг, блоків для стін гаражів, майстерень, складів.

## ДІЇ 5

### МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ТА ЇХ НОРМУВАННЯ

---

#### 5.1. Вимірювальна та газоаналізуюча апаратура для визначення екологічних показників автомобілів

Для вимірювання вмісту шкідливих речовин (ШР) у відпрацьованих газах (ВГ) ДВЗ застосовують газоаналізуючу апаратуру, в якій використано методи, що ґрунтуються на фізичних чи хімічних властивостях компонентів, які входять у ВГ. Насамперед, це стосується ШР, яких утворюється і надходить у атмосферу найбільше: оксиду вуглецю  $CO$ , вуглеводнів  $C_mH_n$ , оксидів азоту  $NO_x$ , сажі і твердих частинок (ТЧ).

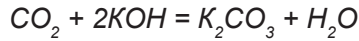
Описано найбільш широко застосовувані методи вимірювання вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах ДВЗ та прилади, в яких ці методи реалізовано. Хоча на сьогодні віддають перевагу методам, які можуть бути реалізовані в портативних приладах, які легко можна застосовувати в умовах експлуатації. Проте існують прилади, в яких закладено інші методи, і їх застосування на практиці ще цілком можливо.

#### Алгоритми і апаратура

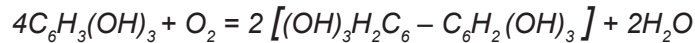
Цей метод застосовують в приладах для стаціонарних умов випробувань, зокрема в лабораторіях. Абсорбціометричний метод газового аналізу або хімічний метод вибіркового поглинання ґрунтується на властивості окремих компонентів газової суміші (у нашому випадку це ВГ) вступати в хімічні реакції з відповідними реактивами – поглиначами.

Найбільш широко використовують:

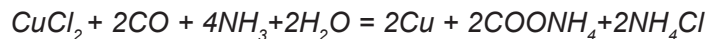
– гідроксид калію (100 г  $KOH$  на 200 см<sup>3</sup> води), який поглинає двооксид вуглецю  $CO$ :



– розчин пірогалолу в їдкому лузі (40 г гідроксиду калію розчиняють в 80 см<sup>3</sup> води і після нагрівання до 60 °С в розчин додають 15 г пірогалолу  $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$ ) поглинає кисень  $\text{O}_2$ :



– аміачний розчин напівхлористої міді (250 г хлориду амонію  $\text{NH}_4\text{Cl}$  розчиняють в 750 см<sup>3</sup> води і додають 200 г хлориду міді  $\text{CuCl}_2$ , після чого на кожні три об'єми суміші додають один об'єм водного розчину аміаку густиною 0,91 кг/м<sup>3</sup> – розчин фільтрують) поглинає оксид вуглецю  $\text{CO}$ :



– водний розчин бром (червоний бром розчиняють у воді до світло-червоного кольору) поглинає ненасичені вуглеводні  $\text{C}_m\text{H}_{2n}$ .

Для реалізації методу вибіркового поглинання певний об'єм ВГ відбирають з пробозабірної магістралі і по черзі прокачують крізь резервуари з поглиначами. Зменшення відібраного об'єму ВГ після проходження певного поглиначу визначає об'ємну частку певного компоненту. За таким методом працюють газоаналізатори ГХП-2 та ГХП-3 (вимірювання вмісту  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  та  $\text{O}_2$ ),

Газоаналізатори, які працюють за таким методом, можна використовувати для найпростіших контрольних аналізів, тому що вони мають дуже невисоку точність вимірювання через значні похибки під час вимірювання об'ємів проб ВГ. До того ж застосування таких газоаналізаторів потребує спеціалістів високої кваліфікації. Вимірювання досить трудомісткі, небезпечні і вимагають утилізації відходів.

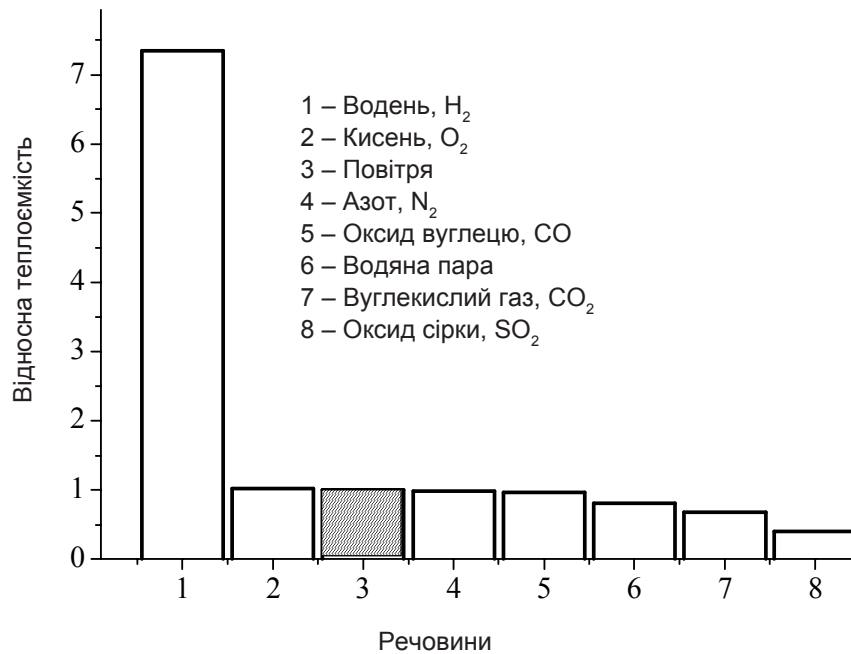
Для підвищення точності вимірювань використовують комбіновані газоаналізатори, в яких метод вибіркового поглинання поєднаний з вибірковою каталітичною допалюванням горючих компонентів ВГ. Ґрунтується цей метод на тому, що деякі компоненти ВГ (за наявності відповідних каталізаторів) догорають, сполучаючись з киснем  $\text{O}_2$ , і відбувається це за різних температур.

Комбіновані газоаналізатори ВТІ-2 дозволяють одночасно виміряти у ВГ вміст  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  і ненасичені вуглеводні  $\text{C}_m\text{H}_n$ .

**Відносна теплоємність різних газів порівняно з повітрям**

Цей метод інколи називають термокондуктометричний. Він ґрунтується на визначенні теплопровідності складових ВГ.

Компоненти, які входять до складу ВГ ДВЗ, мають різну теплопровідність. На рис. 5.1 показано залежність відносної теплопровідності різних газів порівняно з повітрям. У кисню, азоту і оксиду вуглецю теплопровідність майже така, як і в повітря. У водню і двооксиду сірки вона значно різниться, але вміст їх у ВГ незначний, її концентрація не залежить від складу суміші. У процесі відбирання проб для аналізу водяну пару треба відокремити.



**Рис. 5.1.** Відносна теплопровідність різних газів порівняно з повітрям

Отже, компонент, теплопровідність якого значно нижча за повітря, а кількість залежить від складу суміші, що подається у двигун, є двооксид вуглецю CO<sub>2</sub>. За його вмістом визначають склад суміші бензинового двигуна.

Принцип роботи газоаналізатора, що працює за цим методом (рис 5.2), такий: ВГ покачують крізь камеру R1, в якій розміщена



платинова спіраль, що нагрівається, вона входить до складу електровимірювального мосту. Друге плече мосту – така ж платинова спіраль  $R_4$ , яка розміщена в камері зі свіжим повітрям. Початковий баланс мосту встановлюють для коефіцієнту надміру повітря  $\alpha = 0,87-0,9$ . В цьому випадку теплопровідність ВГ і повітря майже однакові. Збільшення або зменшення концентрації  $CO_2$  у ВГ (що зумовлено збідненням або збагаченням суміші) спричиняє, відповідно, зменшення або збільшення кількості відведеної від спіралі теплоти і до порушення рівноваги мосту, що фіксує стрілочний прилад ( $mV$  – див. рис. 5.2).

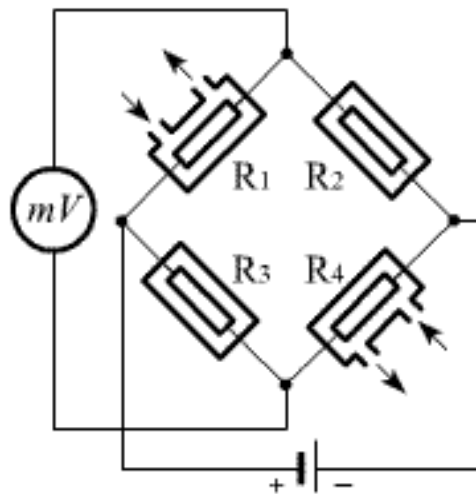


Рис. 5.2. Схема термокондуктометричного газоаналізатора

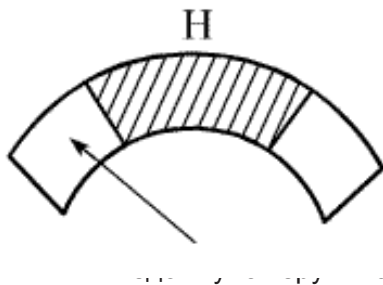


рис 5.3. Шкала термокондуктометричного газоаналізатора

рис. 5.3), як правило, градуйована в одиницях гр<sub>я</sub> і палива. Окрім того, шкала поділена на склад суміші (зліва направо) – багата, нормо відповідає нормальному складу суміші, ви-

недоліків цього методу є вплив на точність гу суцільності газового потоку, що призводить дення теплоти від спіралі. Для усунення цього ують так, щоб поблизу спіралі теплообмін був

За цим методом працюють прилади AST-70, AST-75 (Польща), IT-220 (Чехія). Найчастіше газоаналізатори такого типу використовують в АТП для діагностування і перевірки правильності регулювань систем живлення ДВЗ.

Рис. 5.3. Шкала термокондуктометричного газоаналізатора

### Інфракрасні методи вимірювання

Метод ґрунтується на визначенні кількості теплоти, яка виділяється під час допалювання оксиду вуглецю на платиновій спіралі.

ВГ в суміші з дозованою кількістю повітря надходять в камеру з розжареною платиновою спіраллю, яка включена в електровимірювальний міст. Прилади виконують за схемою, подібною наведеній на рис. 5.2. За наявності каталізатора оксид вуглецю CO догорає і нагріває платинову спіраль. У результаті опір її зростає, порушується баланс моста, що і фіксує прилад.

Основний недолік такого приладу – вплив теплоти, яка виділяється внаслідок догорання інших компонентів, які входять у ВГ, в основному, вуглеводнів  $C_m H_n$ , а також порушення суцільності потоку суміші газів і повітря, що збільшує або зменшує виділення теплоти.

Цей метод реалізовано у приладах “Елькон S-105” (Угорщина), Янагімото CO-65 (Японія) та інші.

### Інфракрасні методи вимірювання вмісту вуглеводнів

Такі газоаналізатори мають багато різновидів, і ґрунтується їх робота на вибіркового поглинанні досліджуванім газом променевої енергії.

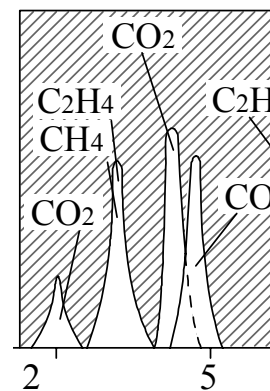
Для вимірювання вмісту ШР у ВГ ДВЗ найбільшого поширення набули інфрачервоні оптико-акустичні газоаналізатори.

Застосований у них метод ґрунтується на здатності окремих компонентів ВГ поглинати хвилі спектру інфрачервоного випромінювання певної довжини.

На рис. 5.4 показана частина інфрачервоного діапазону випромінювання і спектри поглинання променів окремими газами.

2                      5                      10                      15 мкм

**Рис. 5.4.** Графік частини інфрачервоного діапазону вимірювання і спектрів поглинання променів окремими газами



**Рис 5.4.** Графік частини інфрачервоного діапазону вимірювання і спектрів поглинання променів окремими газами

Оксид вуглецю CO інтенсивно поглинає інфрачервоні промені з довжиною хвилі близько 4,7 мкм, двооксид вуглецю CO<sub>2</sub> – 4,3 мкм.

Вибірковість поглинання інфрачервоного випромінювання зумовлена частотами власних коливань атомів або іонів структурних груп в молекулі, а також тим, що молекули обертаються з різною кутовою швидкістю. Це пояснює і те, що інфрачервоне випромінювання поглинають гази, в молекули яких входять два різних атоми або іони.

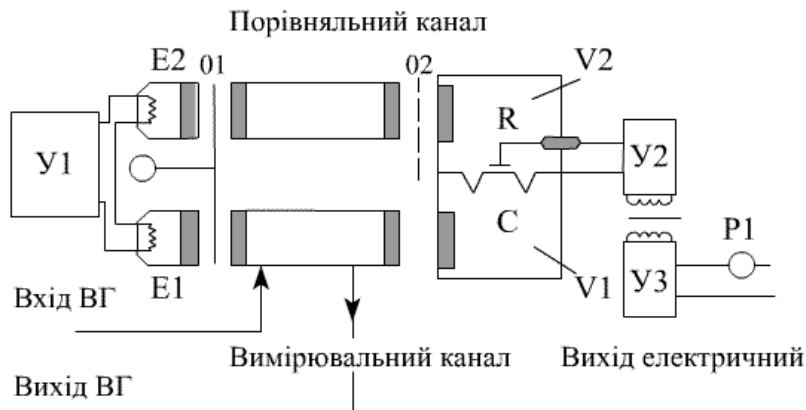
Відповідно до основного закону перенесення променевої енергії в поглинальному середовищі послаблення інтенсивності випромінювання відповідної довжини хвилі при проходженні крізь шар газу описує залежність:

$$I_{\lambda} = I_{l=0} \cdot e^{-\chi_{\lambda} \cdot l}$$

де  $\chi_{\lambda}$  – коефіцієнт послаблення променя певної довжини хвилі, який залежить від концентрації речовини, що поглинає ці хвилі;  $l$  – товщина шару газу.

Таким чином, після проходження інфрачервоного випромінювання крізь суміш ВГ інтенсивність променів відповідної довжини хвилі змінюється залежно від концентрації речовини, яка поглинає ці промені.

На рис. 5.5 показана схема бездисперсного інфрачервоного газоаналізатора. Два однакових потоки E1 і E2 від джерел інфрачервоного випромінювання проходять крізь оптичні (порівняльний і вимірюваний) канали. Джерела мають спільний блок живлення У1 з високим рівнем стабілізації напруги, необхідної для забезпечення стабільності світлових потоків. Потоки променів одночасно перериваються обтюратором O1, який приводиться в рух синхронним електродвигуном змінного струму M1.



**Рис. 5.5.** Принципова схема бездисперсного інфрачервоного газоаналізатора

Відпрацьовані гази проходять крізь вимірювальний канал. Симетрична камера порівняльного каналу заповнюється газом, який не поглинає інфрачервоне випромінювання. На виході із каналів потоки випромінювання будуть відрізнятися на величину, пропорційну вмісту компоненту у відпрацьованих газах, який поглинув частину інфрачервоного випромінювання даної довжини хвилі.

Після вимірювального та порівняльного каналів промені надходять в об'єми  $V1$  і  $V2$  мірної камери. Ці об'єми розділені мембраною конденсаторного мікрофона  $C$  і заповнені сумішшю інертного газу і компонента, вміст якого вимірюється. Через те, що у вимірювальному каналі відбулося поглинання частини променевої енергії і перетворення її в теплову температура і тиск суміші в об'ємі  $V1$  будуть меншими, ніж в об'ємі  $V2$ . Через те, що тиск в об'ємі  $V2$  буде більшим, мембрана конденсаторного мікрофона  $C$  буде міняти своє положення відносно нерухомого електрода з частотою, пропорційною частоті обертання обтюратора, і на величину, пропорційну різниці тисків. Ємність конденсатора  $C$  буде змінюватися. Через опір  $R$  конденсатор живиться постійним струмом. Коли ємність конденсатора змінюється, на його обкладинках виникає перемінна напруга, частота якої пропорційна частоті обертання обтюратора, а амплітуда відповідає поглинанню потоку променів у камері вимірювального каналу.

Змінний електричний сигнал через підсилювач  $U2$  перетворюється в уніфікований вихідний сигнал постійного струму перетворювачем  $U3$ . Вимірювальний прилад  $P1$  надсилає сигнал на

шкалу газоаналізатора. Балансування світлових потоків здійснюється заслінкою O2. Для підтримання постійного тиску ВГ на вході у вимірювальний канал застосовують регулятор абсолютного тиску (РАТ). Підтримання однакового тиску в усьому вимірювальному каналі здійснює регулятор тиску (РГ), а витрату ВГ контролюють за витратоміром (РМ).

Прилади виготовляють з мінімальною і максимальною шкалами вимірювання: CO – 0–0,01 % і 0–100 %; CO<sub>2</sub> – 0–0,005 % і 0–100 %; CH<sub>4</sub> – 0–0,02 % і 0–100 %.

Межі допустимої основної похибки відповідають значенню, що лежить у межах вимірювань: для газоаналізаторів на вміст CO, CO<sub>2</sub> і CH<sub>4</sub> зі шкалами від 0–1 % до 0–100 % – 2 %; для газоаналізаторів на CO і CH<sub>4</sub> зі шкалами від 0–0,01 до 0–0,5 % – 5 %; для газоаналізаторів на CO<sub>2</sub> зі шкалами від 0–0,005 % до 0–0,5 – 10 %.

Газоаналізатори, в яких реалізовано метод вибіркового поглинання інфрачервоного випромінювання мають такі переваги: високу точність вимірювання; вони прості в обслуговуванні; компактні та переносні; не потребують для проведення вимірювань спеціалістів високої кваліфікації; дозволяють одним приладом вимірювати одночасно вміст декількох компонентів; надійні в роботі.

Інфрачервоні газоаналізатори виготовляють у досить великій кількості промислові підприємства та фірми.

CO<sub>2</sub> – ГАІ-1, ОА-2109, ГІАМ-5М, АСГА-Т, ГАІ-2, 121-ФА-01, 102-ФА-01М; ІНФРАЛІТ-8, ІНФРАЛІТ-2Т1, багатоконпонентний газоаналізатор Бош мод. ЕТТ 008.55 для CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> і O<sub>2</sub>, газоаналізатор мод. 465В для CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, ІНФРАЛІТ СL для CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, O<sub>2</sub> (Німеччина), SENCRO для CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> (Іспанія), ЕТТ 006.21, ЕТТ 006.22 для CO і C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> (Німеччина); газоаналізатор JT 283A (ЧР), 325-ФА-01, 325-ФА-02.

CO<sub>2</sub> – ГАІ-2, ГІАМ-5М, Пост екологічного контролю АСГА-Т, ОА-2209, ІНФРАЛІТ-2Т1 (Німеччина).

C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> – ОА-2209, 121-ФА-01, 102-ФА-01М.

*İ àò î ä ž í çàö³žâî äí ââî âî î î ëòì 'ÿ  
âóãëääî äí ââè è ñî î ëóèàì è*

В результаті вимірювання концентрації вуглеводнів у ВГ попереднім способом вибіркового поглинання інфрачервоного випромінювання отримують вміст однієї із складових вуглеводнів – гексану чи метану. Дійсні результати щодо сумарної концентрації

вуглеводнів у ВГ отримують, застосувавши спосіб вимірювання електропровідності водневого полум'я при його іонізації вуглеводневими сполуками. Чисте водневе полум'я – практично діелектрик (опір водневого полум'я  $R_H = 10^{14}$  Ом), але коли в полум'я надходять вуглеводневі сполуки, воно іонізується, і опір його значно зменшується. Зменшення опору спричиняє збільшення струму іонізації, пропорційне концентрації вуглеводневих сполук.

Складаються прилади зі складного електронного блоку, що реєструє, і вимірювальної частини. Принципова схема вимірювальної частини приладу показана на рис. 5.6.

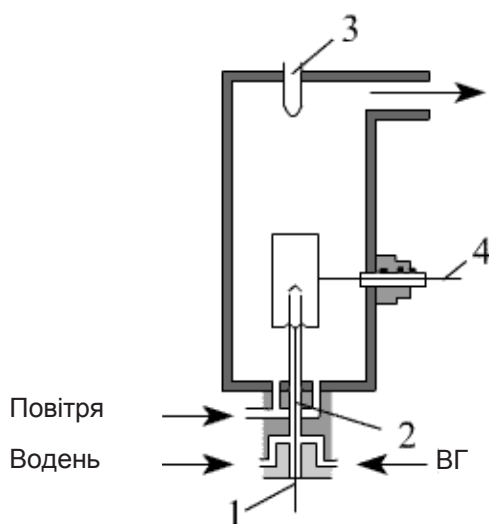
Водень у суміші з повітрям надходить у пальник 2 і згорає в камері. Здійснюється запалювання від свічки 3. Через те, що водневе полум'я має дуже великий опір, між електродами 1 і 4 струм майже відсутній.

У разі, коли в пальник надходить проба із вуглеводневими сполуками, опір між електродами зменшується – виникає іонний струм. Цей сигнал підсилюється і фіксується стрілочним або будь-яким іншим приладом чи самописцем.

Недоліком таких аналізаторів із використанням чистого водню є чутливість їх до кисню, що міститься в пробі (киснева інтерференція, тобто посилення

чи послаблення значення струму наявністю кисню). Щоб уникнути похибки вимірювання доцільно використовувати суміші: 40 %  $H_2$ , + 60 %  $N_2$ , або 40 %  $H_2$  + 60 %  $He$ .

За розглянутим способом працюють газоаналізатори ЛХМ-80МД, ЛХМ-5Д, прилади, які входять у комплект автоматизованої системи газового аналізу АСГА-Т, а також прилади закордонних фірм "Мега" (Японія), "Бекман" (США) та система газового аналізу AVL СЕВХОО (Австрія).

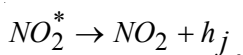


**Рис. 5.6.** Принципова схема вимірювальної частини полум'яно-іонізаційного газоаналізатора

### Вимірювання концентрації оксидів азоту

Для безперервного вимірювання концентрації оксидів азоту ( $NO_x$ ) у ВГ застосовують спосіб хімічної люмінесценції, який базується на миттєвій реакції  $NO$  і озону  $O_3$  у вакуумі з утворенням двооксиду азоту  $NO_2$ . Частина двооксиду азоту (близько 10 %) активована і при переході в стабілізований стан вивільнює енергію, яка спричиняє люмінесцентне свічення.

Механізм реакції такий:



де  $h\nu$  – випромінювана енергія;  $NO_2^*$  – приблизно 10 % оксиду азоту, що вивільнюють цю енергію при переході у стабілізований стан.

Прилад складається з двох блоків: блоку підготовки проби та вимірювального блоку.

На рис. 5.7. показана схема вимірювального блоку приладу, в якому реалізовано вищепописаний метод вимірювання концентрації

$NO + C$

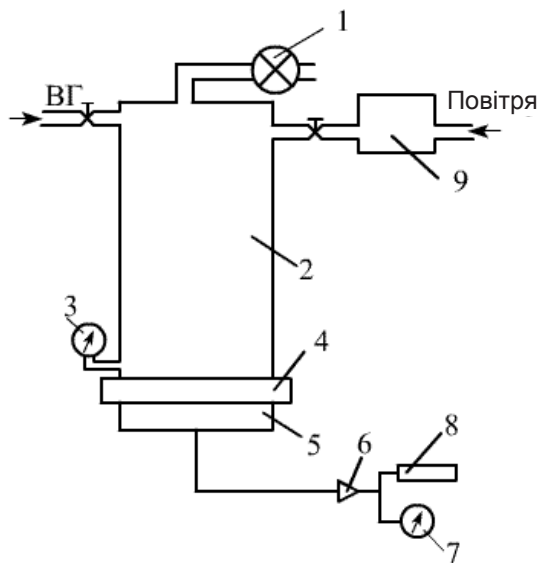


Рис. 5.7. Схема хімілюмінесцентного газоаналізатора

$NO_x$  у ВГ. Вакуумний насос 1 створює в реакційній камері 2 глибокий вакуум, який контролює вакуумметр 3. З одного боку в реакційну камеру 2 з I блоку пробопідготовки через спеціальний дросель надходять ВГ, а з другого – озон, який утворюють з кисню повітря в озонаторі 9. Відбувається хімічне сполучення оксиду азоту з озоном, в результаті якого утворюється хімілюмінесцентне свічення.

Світлофільтр 4 відокремлює свічення,

яке утворюється від реакції озону з іншими компонентами ВГ. На фотопримножувачі 5 свічення перетворюється в електричний сигнал, підсилюється підсилювачем 6 і реєструється стрілочним приладом 7 або самописцем 8.

Для вимірювання вмісту  $NO_x$  у відпрацьованих газах складову  $NO_2$  на спеціальному каталізаторі спочатку відновлюють до  $NO$ , а потім підготовлену пробу ВГ направляють у реакційну камеру.

За цим методом працюють прилади: 344ХЛ-01, 344ХЛ-04, прилад, який входить у систему газового аналізу АСГА-Т, хімілюмінесцентний детектор SPC-472 (фірми AVL) .

### *Г а з о р і д и н н і й м е т о д а н а л і з у*

Газова хроматографія – метод розділення й аналізу газових сумішей (зокрема відпрацьованих газів ДВЗ), який ґрунтується на різному поглинанні складових компонентів будь-яким вбирачем і дозволяє здійснювати якісний і кількісний аналіз цих складових. Залежно від виду вбирача розрізняють хроматографію: газоадсорбційну і газорідинну.

*Газоадсорбційний* метод визначення компонентів газової суміші базується на різній їхній адсорбційній здатності твердими адсорбентами (поруватими речовинами з великою активною поверхнею). Як адсорбент застосовують активоване вугілля, сілікогелі, алюмогель тощо.

В *газорідинній* хроматографії розділення складних сумішей відбувається через різну розчинність компонентів суміші, що піддається аналізу, в тонкому прошарку рідини, нанесеної на поверхню твердого хімічноінертного носія. Твердий носій безпосередньо не бере участі в адсорбційному процесі, а забезпечує необхідну поверхню для розчинника. Залежно від природи газів для розділення сумішей застосовують різні рідини, наприклад, вазелінова олива (суміш рідких парафінів високої чистоти), силіконова олива, авіаційна олива з високою температурою кипіння та інше. Різновидністю газорідинної хроматографії є капілярна газова хроматографія, що більш точно розділяє компоненти газової суміші. Як твердий носій застосовують довгі капілярні трубки, які із середини вкриті тонким рівномірним прошарком нелеткої рідини.

На рис. 5.8 показано спрощену схему газоадсорбційного хроматографа. Газ-носій (ГН) (наприклад, повітря) через фільтр 1 безперервно з постійною швидкістю надходить у розділювальну колонку 3, яка заповнена адсорбентом (активоване вугілля чи інший), та детектор 4 (вимірювальний перетворювач з електричним вихідним сигналом, який реєструє мікрвольтметр-самописець 5). Незмінність



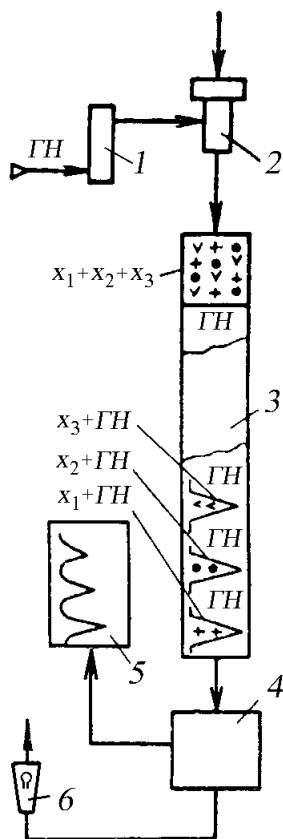
витрати ГН, що проходить розділювальною колонкою, контролюють ротаметром 6.

При усталеному режимі кризь дозуючий отвір пристрою для подавання проби 2 вводять дозу газу для аналізу. Отвір пристрою 2 ущільнюється гумовою мембраною, тому герметичність газової лінії та розділювальної колонки 3 не порушується.

Для прикладу, що розглядаємо (рис. 5.8), проба газової суміші складається з трьох компонентів  $x_1, x_2, x_3$  (наприклад  $H_2, CO$  і  $C_mH_n$ ), які мають різні фізико-хімічні властивості та неоднакову адсорбційну здатність, що спричиняє різну швидкість переміщення компонентів розділювальною колонкою 3.

На початковій ділянці колонки 3 зони компонентів  $x_1, x_2, x_3$  у потоці газу-носія, взаємно перекриваються. Подальше їх проходження кризь шар адсорбенту в колонці закінчується остаточним розділенням компонентів.

Кожен компонент формує сконцентрований профіль, який переміщується. Профіль побідний до кривої дзвоникоподібної форми, що описується гаусовським законом розподілу. Профілі кожного компоненту



одина від одного зони ія ГН, складають фактич- і:  $x_1+ГН, x_2+ГН$  та  $x_3+ГН$ . ля введення проби із роз- зонки 3 виходить лише газ- м із суміші газів з колонки - ент  $x_1(H_2)$ , який має най- йну здатність, за ними – м –  $x_2(C_mH_n)$ . ваний профіль кожного зиході його з розділюваль- етєктор 4 перетворює в хідний сигнал у функції лгнали подають на вхід з-самописця 5 і записують оматограму (рис. 5.9) із лми піками. ного із компонентів  $x_1, x_2,$  у вигляді піків, розміще- вою нульовою лінією, що

$$x_2 + x_2 + x_3$$

$$x_3 + ГН$$

$$x_2 + ГН$$

$$x_1 + ГН$$

Рис. 5.8. Схема хроматографа

відповідає вихідному сигналу детектора 4 у разі надходження з колонки ГН. За хроматограмою визначають якісний та кількісний склад газової суміші. Кількість профілів визначає кількість компонентів газової суміші  $x_1, x_2, x_3$ , а там вміст кожного з компонентів визначають за площею чи висотою піків  $H_1, H_2, H_3$ .

Характерними параметрами хроматограми є: відстані  $l_1, l_2, l_3$ , що визначають час з моменту введення проби для аналізу до досягнення максимуму піку, які різняться для різних компонентів, та ширина піку  $h$  на половині висоти  $H$ . Для ви-

**Рис. 5.9.** Хроматограма розділення газової суміші із трьох компонентів

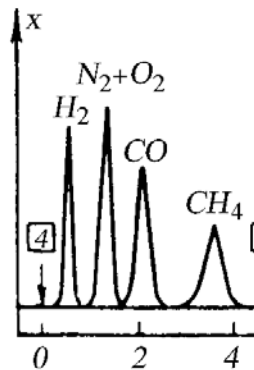
конання кількісного аналізу попередньо необхідно здійснити калібрування хроматографа контрольними сумішами.

Для прикладу на рис. 5.10 наведена хроматограма хроматографа "Газохром" 3101. В названому хроматографі застосована двопотокова схема з розділеним введенням проб для аналізу. Для виготовлення колонок хроматографа використовують трубки із внутрішнім діаметром 3–8 мм з хімічно стійких матеріалів (нержавіюча сталь, мідь, фторопласт, боросилікатне скло).

До основних переваг методу газової хроматографії належать: незначна похибка вимірювань, можливість одночасного вимірювання вмісту декількох

Загальний пік

**Рис. 5.10.** Хроматограма хроматографа "Газохром" 3101: 4, 5, 6 – подавання проби



**Рис. 5.10.** Хроматограма хроматографа "Газохром" 3101: 4, 5, 6 – подавання проби

**Рис. 5.9.** Хроматограма розділення газової суміші із трьох компонентів

компонентів, вимірювання вмісту окремого компонента в газовій суміші.

Основним недоліком приладів, у яких реалізовано такий метод, є трудомісткість і довготривалість вимірювання, потреба у спеціалістах високої кваліфікації.

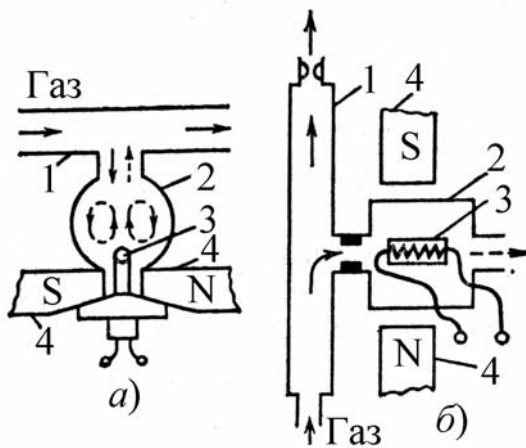
За таким методом функціонують лабораторні хромаграфи ЛХМ-80МД, ЛХМ-5Д, "Газохром" 3101.

### Одні і і ані з і і ао і ає

Всі гази за характером і абсолютними значеннями магнітних властивостей поділяють на діамагнітні і парамагнітні, які здатні або не здатні намагнічуватися, а намагніченість або інтенсивність намагнічування пропорційна напруженості магнітного поля.

Принцип дії термомагнітних газоаналізаторів базується на явищі термомагнітної конвекції парамагнітного газу, яку спричиняє наявність неоднорідного магнітного поля і нагрітого тіла (температурного градієнта). Такий метод реалізовано в газоаналізаторах, що вимірюють концентрацію кисню у відпрацьованих газах ДВЗ.

Термомагнітна і природна температурна конвекції аналогічні. Відомо, що теплова конвекція зумовлена наявністю гарячої (холодної) верхньої (нижньої) частини рідини за існування гравітаційної сили. У термомагнітних газоаналізаторах (рідинаю) за існування гравітаційної сили частини газу нагрівається, його об'єм зменшується. Різниця густоти викликає підйомну силу, під дією



газ, що піддається ана-

Рис. 5.11. Схема термомагнітного газоаналізатора

а – з дифузійним підведенням газу;

б – прямоточна з частковим скиданням газу.

В камері розташована магнітна система 4, між

Рис. 5.11. Схема термомагнітного газоаналізатора: а – з дифузійним підведенням газу; б – прямоточна з частковим скиданням газу

полюсами якої розміщено чутливий елемент 3. Струм, що проходить чутливим елементом, нагріває його. Газ від чутливого елемента нагрівається, це зменшує його схильність до намагнічування. В результаті цього нагрітий газ виштовхується із магнітного поля холодним, який тече каналом 1. Внаслідок цього утворюється неперервний потік газу поблизу чутливого елемента 3 (на рис. 5.11 показано пунктирною лінією), що переміщується в напрямку зменшення напруженості магнітного поля. Цей потік газу, що носить назву термомагнітної конвекції, або магнітного вітру, охолоджує чутливий елемент 3. Інтенсивність термомагнітної конвекції залежить від схильності парамагнітного газу (кисню) до намагнічування, її визначають за зміною електричного опору чутливого елемента 3, спричиненого його охолодженням. Зміну омного опору вимірюють мостовою схемою.

Неоднорідне магнітне поле виникає поблизу кромek полюсів постійного магніту 4, поблизу яких у вимірювальній камері розміщують чутливий елемент 3 або нагрівач.

На точність вимірювання впливають деякі компоненти проби ВГ, температура та тиск проби. Такий метод застосовано, наприклад, в газоаналізаторі АГ 0011.

### І до і а әі әр ааі і ү әі і і ñò ³ ÃÃ әеçаеә

Для вимірювання димності ВГ дизелів застосовують два методи: нефелометричний і турбодиметричний.

І ао әі і ао ðè÷í еé і ао і а (метод фільтрації) – полягає в пропусканні ВГ крізь паперовий фільтр і вимірюванні ступеня почорніння фільтра.

На рис. 5.12 показано насос-дозатор димоміра типу Бош.

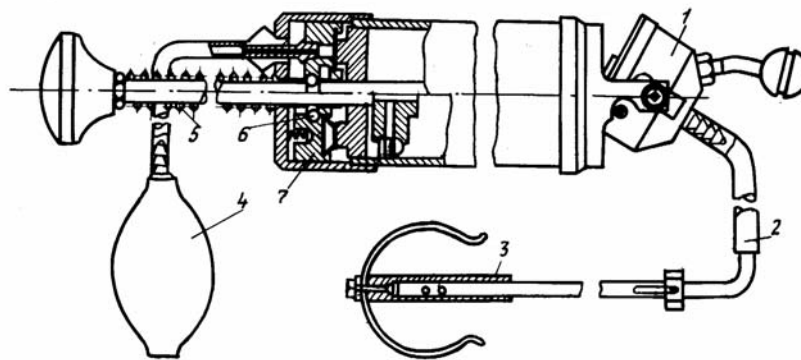


Рис. 5.12. Насос-дозатор димоміра типу Бош

Насосом-дозатором пробу ВГ об'ємом 0,33 л прокачують крізь фільтрувальний папір, із середнім розміром пор 4,5 мкм, який знаходиться в адаптері 1. Адаптер шлангом 2 сполучено з газозабірником 3. Дозатор – це поршневий насос, в який, внаслідок переміщення поршня під дією пружини 5 ліворуч, здійснюють відбирання проби. Перед відбиранням проби пружина стиснута (стискають її переміщенням поршня праворуч), і шток утримують кульками замка 6. Починають відбирання проби стисканням груші 4. Під тиском повітря обойма 7 зрушується, вивільнюючи поршень, і він, за 1,5 с перемістившись ліворуч, здійснює відбирання проби крізь фільтрувальний папір.

Після цього паперовий фільтр знімають і визначають димність або порівнюючи його з еталонними фільтрами, або вимірюючи ступінь почорніння поверхні паперу фотометричним способом.

Основним недоліком приладів, які працюють за нефелометричним методом, є значна похибка вимірювань.

За таким методом працює димомір AVL SmokeMeter 415.

**Об'єкти вимірювання** (метод просвічування) – полягає у визначенні ступеня поглинання світлового потоку шаром ВГ певної товщини.

Принципова схема димоміра, який працює за цим методом, показана на рис. 5.13. Димомір складається з оптичного блока 1, блока перетворення інформації (БПІ) 3 і блока живлення (БЖ) 4 димоміра від перемінного струму 220 В, 50 Гц. БПІ з'єднується з оптичним блоком і БЖ з'єднувальними дротами 2. Оптичний блок трубою з тримачем 8 і рукою 7 сполучають з випускною трубою 9 дизеля.

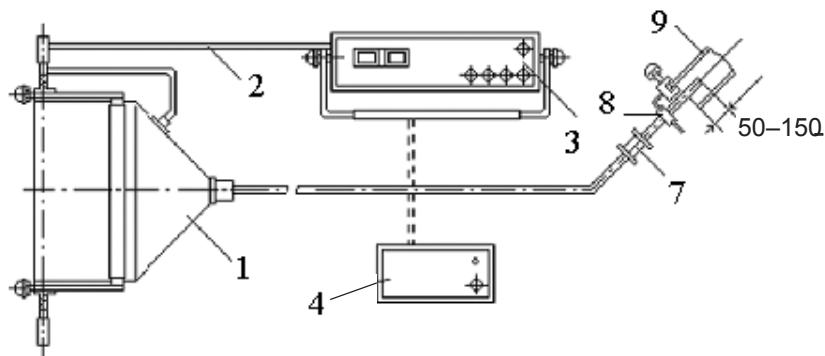
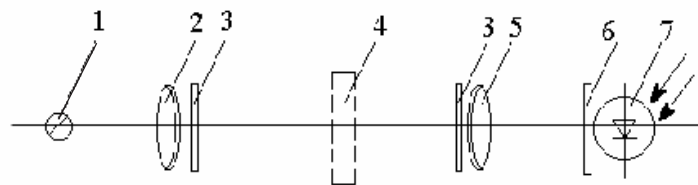


Рис. 5.13. Принципова схема димоміра ІНА-109

Принцип роботи приладу базується на методі просвічування ВГ, вимірюванні їх температури з наступною корекцією коефіцієнта пропускання за значеннями температури і величини бази (відповідно до стандарту).

Оптичний блок призначений для перетворення оптичного і температурного параметрів ВГ в електричний сигнал й аеродинамічного формування потоку газів. Принцип роботи оптичного блоку реалізований за однопроменевою оптичною схемою, яка показана на рис. 5.14.



**Рис. 5.14.** *Схема оптичного блока димоміра ІНА-109*

Джерело світла – лампа 1, а приймач – фотодіод 7. Світло від лампи 1 об'єктивом 2 формується в паралельний потік променів, який проходить крізь шар ВГ і потрапляє на лінзу 5, яка фокусує потік променів на світлоприймачі 7. На шляху променів передбачено встановлення повіркового фільтра 4, який призначений для контролю шкали приладу. Повірковий фільтр відповідає димності у 50 одиниць.

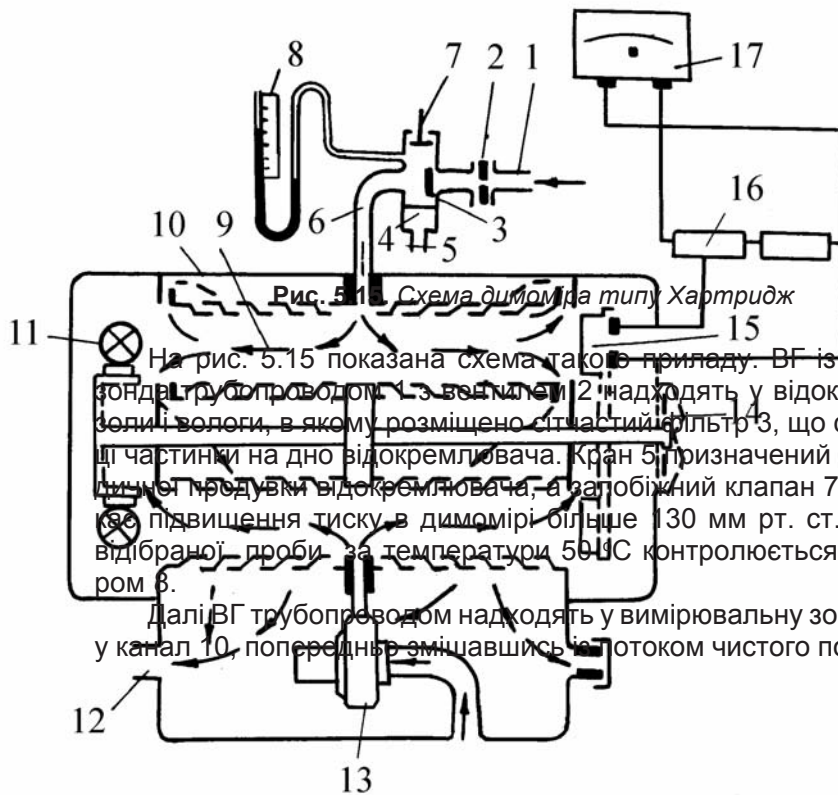
Світлофільтр 6 призначений для узгодження характеристик джерела світла та світлоприймача. Для захисту оптики встановлені захисні скельця 3.

Призначення БПІ – обробка електричного сигналу в коефіцієнт ослаблення світлового потоку  $N$ , перетворення його, за спеціальною схемою, в натуральний показник послаблення світлового потоку  $K$ , а також індикація значень димності й температури на шкалі приладу.

Метод просвічування застосовують у приладах ДО-1, СИДА-107 і димомірах ИДА-106, МЕТА-01, МЕТА-01МП, ИНА-109, а також у зарубіжних: Бош моделі RTT 100/100 (Німеччина), димомір Opacilit 1020 (Німеччина), аналізатор 465 С (Німеччина), димоміри 409, 435, 437 фірми AVL (Австрія).

При вимірюванні димності методом просвічування на показники димоміра впливають коливання тиску у випускному трубопроводі, конденсація водяної пари тощо. Таких недоліків не мають (і тому

набувають найбільшого поширення) прилади, що порівнюють прозорість ВГ і повітря, які перебувають в однакових умовах. Такими є димоміри фірми Хартридж.



На рис. 5.15 показана схема такого приладу. ВГ із забірною трубкою (1) з відомою площею (2) надходить у відокремлювач золи і води, в якому розміщено сітчастий фільтр (3), що спрямовує ці частинки на дно відокремлювача. Кран (5) призначений для періодичної продувки відокремлювача, а запобіжний клапан (7) не допускає підвищення тиску в димомірі більше 130 мм рт. ст. Цей тиск відібраної проби за температури 50°C контролюється манометром (8).

Далі ВГ трубопроводом надходить у вимірювальну зону (9), потім у канал (10), попередньо змішавшись із потоком чистого повітря, яке

захищає лампу розжарювання 11 і фотоелемент 15 від забруднення. Повітря вентилятором 13 під тиском 20 мм рт. ст. подають у контрольну зону трубопроводу і в канал 10. Трубопровід 12 призначено для видалення з приладу суміші повітря і ВГ. Ручкою 14 повертають лампу розжарювання (джерело світла) і фотоелемент в одне із двох положень, щоб світловий потік просвічував чи ВГ, чи повітря. Струм фотоелементу, який проходить регульовальний опір 16, спричиняє на ньому спад напруги, який реєструє прилад 17.

Прилади цього типу досить об'єктивно вимірюють показники димності ВГ.

### Ізольована система вимірювання маси твердих частинок

Для вимірювання маси твердих частинок, що надходять у атмосферне повітря з ВГ дизелів, використовуються різні оптичні й гравіметричні методи з повним або частковим розбавленням потоку ВГ.

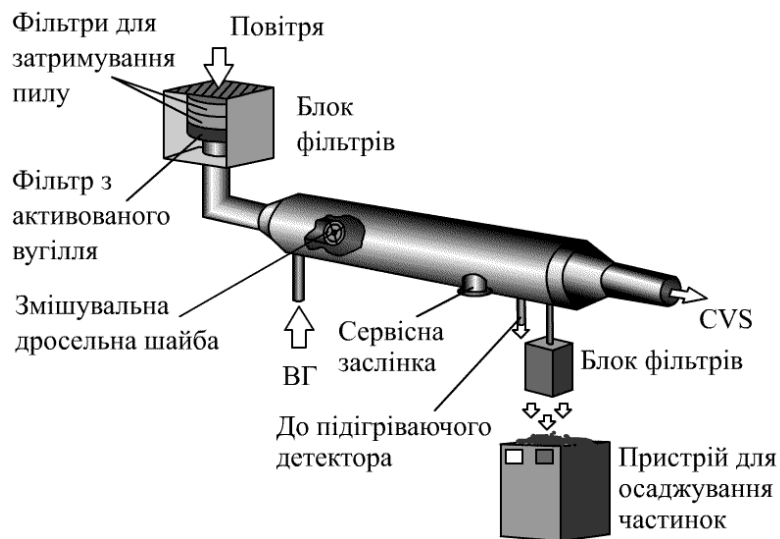


Рис. 5.16. Тунель фірми AVL для вимірювання маси викидів твердих частинок з ВГ дизелів



Утворення твердих частинок у дизелях відбувається внаслідок охолодження ВГ і суттєво залежить від температури місця осідання частинок. Ця температура обмежена і складає не більше 52 °С. Досягають її в результаті змішування ВГ з чистим повітрям за гомогенного процесу.

Процес змішування ВГ з повітрям і процес осідання твердих частинок здійснюється в спеціальному тунелі (простий або здвоєний тунель). Тунель для розбавлення ВГ складається (на рис. 5.16 для прикладу показано тунель фірми AVL) з трьох послідовних секцій: секції підведення повітря для розбавлення ВГ, секції змішування і секції відбору проб ВГ.

У секції підведення повітря системою стандартних фільтрів з активованим вугіллям здійснюють його якісне очищення від частинок пилу і вуглеводнів. У секції змішування, за допомогою дросельної шайби, відбувається переміщення ВГ й очищеного повітря. Розбавлені ВГ насосом прокачують крізь здвоєні паперові фільтри, на яких осаджуються, накопичуються тверді частинки. Об'єм ВГ, що прокачують тунелем, вимірюють. Фільтри зважують до і після прокачування на мікровагах, визначаючи масу викидів твердих частинок з ВГ дизелів.

### *І ào î ä âèì ãð ààí í ÿ âì ãò ó àëüääãäãä ó ÅÃ äâèëóí ä*

Вміст формальдегіду й ацетальдегіду у ВГ можна виміряти фотокolorиметричним методом на фотоелектричному колориметрі ФЕК-56М. Метод вимірювання вмісту формальдегіду базується на взаємодії формальдегіду з ацетилацетоном у середовищі оцтовокислого амонію з утворенням речовини, забарвленої у жовтий колір. Відбір проб ВГ, за існуючими методиками, здійснюють за неперервної аспірації (пропускання і поглинання) ВГ крізь поглинальний розчин у приладах Ріхтера (при вимірюванні вмісту формальдегіду) і приладах Зайцева (при вимірюванні вмісту ацетальдегіду).

Зважаючи на те, що метод неперервної аспірації ВГ здійснити, практично, неможливо через складність довготривалого підтримування стабільної роботи і показників двигуна під час досліджень, відбирання проб ВГ здійснюють у попередньо відвакуумовані однілітрові мірні ємності з налитим у них (по 10 мл) поглинаючим розчином. Відібрані проби ВГ витримують протягом доби. Ці проби в поглинальних ємностях поміщують у водяну баню, нагріту до 40 °С, і витримують впродовж 30 хвилин. Після охолодження проб виконують кількісну оцінку вмісту формальдегіду, яку здійснюють за оптичною густиною забарвленого розчину, що вимірюють у колори-

метрі при довжині хвилі 412 нм у кюветі з товщиною шару розчину 10 мм.

Концентрація формальдегіду ( $C_{HCHO}$ ) у вагових одиницях в досліджуваній пробі ВГ визначають за залежністю, г/м<sup>3</sup>:

$$C_{HCHO} = \frac{M_{HCHO} \cdot 10^{-3}}{V_{ВГ}},$$

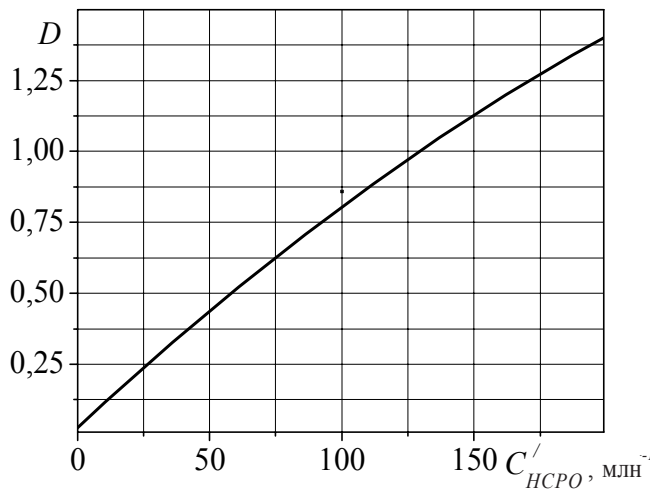
де  $M_{HCHO}$  – кількість формальдегіду, визначена в усій пробі за калібрувальними графіками стандартних розчинів, мг;

$V_{ВГ}$  – об'єм сухих ВГ, відібраних для аналізу і зведених до нормальних фізичних умов, м<sup>3</sup>.

На рис. 5.17 показано калібрувальний графік зміни оптичної густини  $D$  забарвленого розчину залежно від концентрації в ньому формальдегіду .

Для побудови калібрувального графіка готують калібрувальні суміші (табл. 5.1), які обробляють аналогічно пробам. Калібрувальна суміш складається з поглинального розчину (ацетацетонового реактиву) і розчину стандартного формальдегіду.

Ацетацетоновый реактив: 150 г ацетату амонію розчиненого у 800 мл дистильованої води мірної ємкості 1 л. До розчину додають 2 мл ацеталацетону, 3 мл оцтової кислоти, і об'єм в колбі доводять водою до мітки 1 л.



**Рис. 5.17.** Калібрувальний графік оптичної густини розчину залежно від концентрації формальдегіду

Таблиця 5.1

## Шкала калібрувальних розчинів формальдегіду

Калібрувальні суміші	Стандартний розчин з вмістом формальдегіду 0,01мг/мл	Поглиняльний розчин, мл	Вміст формальдегіду, мкг
1	0	5	0
2	0,05	4,95	0,5
3	0,1	4,9	1,0
4	0,2	4,8	2,0
5	0,4	4,6	4,0
6	0,6	4,4	6,0
7	0,8	4,2	8,0
8	1,0	4,0	10,0

Крім того, за оптичною густиною забарвленого розчину, залежно від концентрації формальдегіду в ньому, за поліноміальною залежністю можна визначити концентрацію формальдегіду, млн<sup>-1</sup>:

$$C'_{HCHO} = 0,97787 + 55,91402 \cdot D + 63,41687 \cdot D^2$$

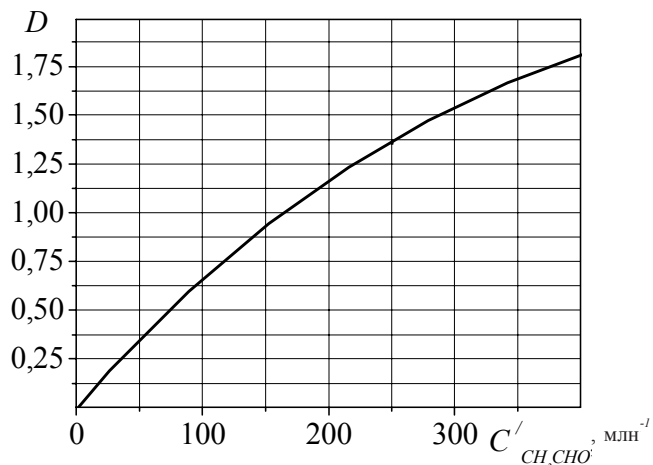
Концентрації формальдегіду ( $C_{HCHO}$ ) визначають за рівнянням, млн<sup>-1</sup>:

$$C'_{HCHO} = \frac{C_{HCHO} \cdot 2,24}{\mu_{HCHO} \cdot 10^{-4}}$$

де  $\mu_{HCHO}$  – молярна маса формальдегіду, кг/кмоль.

Метод визначення вмісту ацетальдегіду у ВГ базується на реакції взаємодії ацетальдегіду з *n*-диметилу-мінобензальдегідом у лужному середовищі з утворенням речовини, забарвленої у жовтий колір. Відбір проб ВГ для визначення вмісту ацетальдегіду здійснюють, як і при визначенні вмісту формальдегіду.

Як поглиняльний розчин використовують дистильовану воду (15 мл), налиту в мірну ємність. Вміст поглиняльних розчинів переносять в калориметричні пробірки, додають по 3 мл спирту, 0,2 мл *n*-диметиламінобензолальдегіду, 1 мл лугу, перемішують і нагрівають у водяній бані до 50 °С упродовж 30 хв. Після охолодження виконують аналіз. Кількісну оцінку вмісту ацетальдегіду виконують за оптичною густиною забарвленого розчину з використанням калібрувального графіка (рис. 5.18).



**Рис. 5.18.** Калібрувальний графік оптичної густини розчину залежно від концентрації в ньому ацетальдегіду

Для побудови калібрувального графіка використовують калібрувальні розчини (табл. 5.2), що складаються з дистильованої води і стандартного розчину ацетальдегіду, які обробляють аналогічно пробам.

За оптичною густиною забарвленого розчину, залежно від концентрації ацетальдегіду в ньому, за поліноміальною залежністю можна визначити концентрацію ацетальдегіду,  $\text{млн}^{-1}$ :

$$C'_{\text{CH}_3\text{CHO}} = 8,12615 - 204,77979 \cdot D + 249,8056D^2$$

Таблиця 5.2

**Шкала калібрувальних розчинів ацетальдегіду**

Калібрувальні суміші	Стандартний розчин ацетальдегіду з вмістом 50мкг/мл	Вода, мл	Вміст ацетальдегіду, мкг
1	0	5	0
2	0,05	4,95	0,5
3	0,1	4,9	5,0
4	0,2	4,8	10,0
5	0,4	4,6	20,0
6	0,6	4,4	30,0
7	0,8	4,2	40,0
8	1,0	4,0	10,0

Вимірювання оптичної густини розчину здійснювали при довжині хвилі 435 нм в кюветі з товщиною шару розчину 10 мм. Концентрація ацетальдегіду у вагових одиницях обчислюють за залежністю,  $\text{г/м}^3$ :

$$C_{CH_3CHO} = \frac{M_{CH_3CHO} \cdot V_1}{V_2 \cdot V_{ВГ}},$$

де  $M_{CH_3CHO}$  – кількість ацетальдегіду, визначена за калібрувальним графіком в об'ємі проби, мг;

$V_1$  – загальний об'єм проби поглинаючого розчину ( $V_1=15$  мл);

$V_2$  – об'єм проби поглинаючого розчину, взятий для аналізу ( $V_2=5$  мл);

$V_{ВГ}$  – загальний об'єм проби ВГ, взятий для аналізу, л.

Концентрацію ацетальдегіду у ВГ визначають за залежністю,  $\text{млн}^{-1}$ :

$$C'_{HCHO} = \frac{C_{HCHO} \cdot 2,24}{\mu_{HCHO} \cdot 10^{-4}},$$

де – молярна маса ацетальдегіду, кг/кмоль.

Наведений метод вимірювання вмісту альдегідів (ацетальдегіду і формальдегіду) у ВГ на даному етапі може використовуватися з достатньою точністю вимірювань при дослідженні і випробуваннях ДВЗ.

### **Àèì ÿp ààì í ÿ ì àñè àèèèä³à ø è³äèèèèèð ðà÷ì àèì ààò ì ì í áÿÿì è ³ ääèèòí àì è**

Як зазначалось для вимірювання маси викидів шкідливих речовин з ВГ двигунів, встановлених на автомобілях з повною масою до 3500 кг, використовують комплекс приладів і обладнання, які надають можливість здійснювати випробування за спеціальними їздовими циклами, не знімаючи з автомобілів. Їздові цикли визначені в ОСТ 37.001.054-86 і складаються з режимів, тривалість і послідовність яких імітують рух автомобіля під час експлуатації.

Комплекс для випробування складається із стенду з роликівими барабанами, ПЕОМ, а також систем підготовки і аналізу ВГ (здебільшого використовується система пробовідбірників постійного об'єму (ППО) – CVS). Режими їздового циклу задаються на моніторі ПЕОМ. Оператор, керуючи автомобілем, відтворює їздовий цикл, а ППО в певні проміжки часу відбирає ВГ для аналізу.

Суть методу, який реалізовано в системі ППО (CVS) – пробовідбірників постійного об'єму, полягає в тому, що під час випробу-

вувань ВГ розбавляють очищеним повітрям, яке надходить з оточуючого середовища. У спеціальний пробовідбірник спрямовують не весь потік ВГ, а лише його частину. Змішування ВГ з повітрям здійснюють так, щоб сумарна об'ємна витрата суміші залишалась незмінною незалежно від режиму руху автомобіля. Розбавлення ВГ має бути не менше 1/8, тобто таким, щоб на жодному режимі руху за їздовим циклом не відбувалося конденсації водяної пари.

Масу викидів шкідливих речовин з ВГ двигунів автомобілів з повною масою більше 3500 кг (вантажних автомобілів) вимірюють під час роботи ДВЗ за режимами спеціальних випробувальних циклів, які складаються з усталених режимів роботи. Випробування двигунів виконують на спеціальних стендах, які також устатковані системами підготовки, відбирання і аналізу проб ВГ. До складу випробувального комплексу входять: гальмовий стенд, ПЕОМ, системи підготовки, відбирання і аналізу ВГ. Під час випробувань проби ВГ відбирають, і проводять аналіз на вміст шкідливих речовин, а за існуючими методиками здійснюють розрахунок маси викидів шкідливих речовин.

### *І деєаае әеү аеі ѓр ааі і ү ø оі ó ³ á³адаә³¿*

Для вимірювання шуму використовують шумоміри різних видів, смугові фільтри, аналізатори, вимірювальні мікрофони самописці, магнітофони й інші прилади. В загальному випадку шумовимірювальний прилад – це вимірювальний мікрофон, підсилювач, частотні фільтри і вимірювальний прилад.

Вимірювальний мікрофон складається з капсуля, перепідсилювача, а також мікрофонного підсилювача, блока живлення і з'єднувальних кабелів.

Вимірювальний прилад складається з підсилювача, випрямляча і реєструючого приладу з відповідними часовими характеристиками.

Шумовимірювальний прилад, виконаний як окремий блок, називають шумоміром. Якщо він складається з окремих блоків, в цьому разі, називають приймальним вимірювальним трактом.

Шумоміри мають частотні характеристики А, В, С, D, Лін. Можна здійснювати вимірювання абсолютних значень рівня звуку чи з певною корекцією за шкалами А, В, С, D та часові характеристики, тобто здійснювати вимірювання F – швидко, S – повільно чи визначати пікові значення.

Шумомірами реалізовано принцип перетворення звукових і механічних коливань досліджуваних об'єктів у пропорційні їм електричні сигнали, які потім підсилюють і реєструють.

Відомі шумоміри ВШВ-003, інтегруючі шумоміри типів 00026 (Німеччина) та фірми Vgel & Kjerg ("Брюль і Ко", Данія) типів 2218В/К, 2226В/К, 2231В/К, 2236В/К, 2260АВ/К, 2260ВВ/К, 2260СВ/К, 3543В/К, 4129В/К, 4155В/К, 4176В/К, 4130В/К, дозиметри шуму типу 00080 (Німеччина) і 4428В/К, 4129В/К (Данія).

Для вимірювання параметрів вібрації (віброприскорення, віброшвидкість, вібропереміщення, сила і провідність) застосовують акустичні вимірювальні прилади, в яких мікрофони замінюють віброперетворювачами, використовуючи інтегратори із градуванням в одиницях віброприскорення і віброшвидкості або вібропереміщення.

Застосовують також спеціалізовані вібровимірювальні прилади. Наприклад віброметр 2511 В/К у комплексі з вузькосмуговим фільтром 1621 В/К (Данія); інтегруючий віброметр 2513 В/К, який дозволяє вимірювати еквівалентний рівень вібрації; вібромір 2512 В/К, який дозволяє оцінити величину вібрації; вібровимірювальний прилад 00032 (Німеччина) і інші.

## 5.2. Розрахунок масових викидів шкідливих речовин автомобілів і соціально-економічних збитків, що завдаються довкіллю

*Î äèí èö³ âèì ðp âàí í ü ò î êñè÷í î ñò ³ ââïî ðàöüí âàí èö ãàçâ*

Одним із найпоширеніших методів визначення токсичності відпрацьованих газів (ВГ) є вимірювання концентрації в них шкідливих речовин. Концентрації шкідливих речовин у ВГ змінюються в широких межах і залежать від типу двигуна, режимів їх роботи, складу паливо-повітряної суміші тощо.

Великі концентрації шкідливих речовин прийнято оцінювати об'ємними процентами (%), а малі – в частинках на мільйон (млн<sup>-1</sup>). Залежно від методу вимірювання і застосовуваного обладнання концентрації шкідливих речовин вимірюють в сухих, вологих і розбавлених ВГ. У сухих продуктах згорання вимірюють концентрації оксиду вуглецю (СО), вуглеводнів ( $C_m H_n$ ) методом інфрачервоної спектроскопії.

Якщо концентрації вуглеводнів вимірюють приладами, в яких застосовано полум'яно-іонізаційний метод, а оксидів азоту ( $NO_x$ ) – метод хімічної люмінесценції, то в пробовідбірнику забезпечено обов'язкове підігрівання ВГ у межах 150–200 °С. У такому разі концентрації вимірюють у вологих відпрацьованих газах, без конденсації водяної пари. Також у вологих ВГ дизелів вимірюють концентрацію частинок (сажі).

Часто необхідно переходити від концентрацій, визначених в одних одиницях – в інші. Співвідношення між цими величинами: 1 % = 10000 млн<sup>-1</sup>, тобто

$$C_i^{//}, \% = C_i^/ \cdot 10^{-4}, \text{ млн}^{-1}, \quad (5.1)$$

де  $C_i^{//}$  – концентрація  $i$ -ї шкідливої речовини, %;

$C_i^/$  – концентрація  $i$ -ї шкідливої речовини, млн<sup>-1</sup>.

Концентрації шкідливих речовин, що містяться у ВГ у аерозолях, у рідкому чи твердому стані (сажа, бенз( $\alpha$ )пірен, оксиди металів тощо), визначають лише у вагових одиницях  $C_i$  – г/м<sup>3</sup> чи кг/м<sup>3</sup>. Окрім того, в деяких приладах для вимірювання газоподібних шкідливих речовин шкали також градуйовані в г/м<sup>3</sup>.

Концентрація  $C_i$  в г/м<sup>3</sup> є найбільш вживаною. Перехід до концентрації у вагових одиницях здійснюють за залежностями:

– для нормальних фізичних умов, коли тиск оточуючого середовища  $p_0 = 1,013 \cdot 10^5$  Па і температура  $t_0 = 0$  °С

$$C_i^/ = \frac{\mu_i \cdot 1000}{22,4 \cdot 100} \cdot C_i^{//}, \text{ з/м}^3; \quad C_i = \frac{\mu_i}{2,24} \cdot C_i^/ \cdot 10^{-4}, \text{ з/м}^3 \quad (5.2)$$

де  $\mu_i$  – молярна маса  $i$ -ї шкідливої речовини, кг/кмоль,

22,4 – об'єм 1 кмоль газоподібної речовини, м<sup>3</sup>/кмоль.

– для нормальних технічних умов, коли тиск оточуючого середовища становить  $p_0 = 1,013 \cdot 10^5$  Па і температура  $t_1 = 20$  °С

$$C_i = \frac{T_0}{T_1} \cdot \frac{\mu_i}{2,24} \cdot C_i^{//}; \quad C_i = \frac{T_0}{T_1} \cdot \frac{\mu_i}{2,24} \cdot C_i^/ \cdot 10^{-4}, \quad (5.3)$$



Концентрації, визначені для різних умов, різняться між собою. Так, наприклад, концентрація оксиду азоту у частинках на мільйон становить  $C_{NO} = 1480 \text{ млн}^{-1}$ , у перерахунку у вагові одиниці вона відповідає концентрації  $C_{NO} = 1,98 \text{ г/м}^3$  при  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  і  $C_{NO} = 1,85 \text{ г/м}^3$  при  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ .

Для дизелів основним показником, що характеризує забруднення, є димність ВГ. Вимірювання димності в різних приладах здійснюються в таких одиницях:

Б, ум. од. – поглинання світлового потоку за шкалою Боша, яка градуїрована від 0 до 10 умовних одиниць;

Д (N), % – коефіцієнт ослаблення світлового потоку за шкалою Хартриджа, яка градуїрована від 0 до 100 %;

К,  $\text{м}^{-1}$  – натуральний показник ослаблення світлового потоку.

*Натуральний показник ослаблення* світлового потоку – величина обернена товщі шару відпрацьованих газів, який в  $e$  разів ослаблює потік випромінювання від джерела світла димоміра, що його просвічує, де  $e$  – основа натурального логарифма. Шкала приладу градуїрована в  $\text{м}^{-1}$ .

Для перерахунку димності, виміряної за шкалою Бош (Б) або за шкалою Хартриджа (Д) та натурального показника ослаблення світлового потоку (К) в концентрації твердих частинок у вагових одиницях –  $C_c$  в  $\text{г/м}^3$ , використовують графічні залежності (рис. 5.19), які побудовані за даними джерел SAE (Society of automotive engineers). Співвідношення одиниць вимірювання димності Д (N) і К наведено в табл. 5.3. Крім того, перерахунок показників димності в одиницях Д, Б чи К в концентрації  $C_c$  в  $\text{г/м}^3$  здійснюють за поліноміальними залежностями:

$$C_c = 0,00478 + 0,00136 \cdot D + 0,000047619 \cdot D^2$$

$$C_c = -0,0143 + 0,07649 \cdot B - 0,03049 \cdot B^2 + 0,00604 \cdot B^3 \quad (5.5)$$

$$C_c = 0,121 K$$

Або наближено розраховують за аналітичною залежністю:

$$C_c = 0,0001 \cdot D^2 \quad (5.4)$$

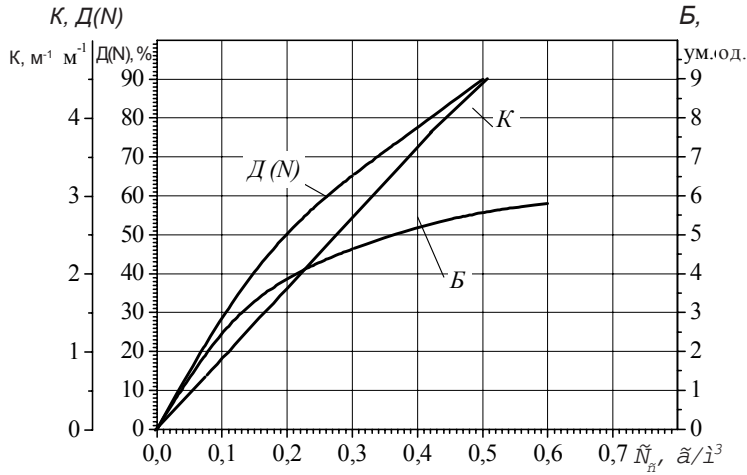


Рис. 5.19. Співвідношення показників димності і концентрації частинок у ВГ

Таблиця 5.3

Переведення коефіцієнта ослаблення світлового потоку  $D(N)$ , % в натуральний показник ослаблення світлового потоку  $K$ ,  $m^{-1}$

$N, \%$	$K, m^{-1}$	$N, \%$	$K, m^{-1}$	$N, \%$	$K, m^{-1}$	$N, \%$	$K, m^{-1}$	$N, \%$	$K, m^{-1}$
1	0,02	21	0,54	41	1,21	61	2,17	81	3,82
2	0,05	22	0,57	42	1,25	62	2,23	82	3,94
3	0,07	23	0,60	43	1,29	63	2,29	83	4,08
4	0,09	24	0,63	44	1,33	64	2,35	84	4,21
5	0,12	25	0,66	45	1,38	65	2,41	85	4,36
6	0,14	26	0,69	46	1,42	66	2,48	86	4,52
7	0,17	27	0,72	47	1,46	67	2,55	87	4,69
8	0,19	28	0,76	48	1,50	68	2,62	88	4,88
9	0,22	29	0,79	49	1,55	69	2,69	89	5,08
10	0,24	30	0,82	50	1,59	70	2,77	90	5,30
11	0,27	31	0,85	51	1,64	71	2,85	91	5,54
12	0,29	32	0,89	52	1,69	72	2,93	92	5,81
13	0,32	33	0,92	53	1,74	73	3,01	93	6,12
14	0,35	34	0,96	54	1,79	74	3,10	94	6,47
15	0,37	35	0,99	55	1,84	75	3,19	95	6,89
16	0,40	36	1,03	56	1,89	76	3,28	96	7,40
17	0,43	37	1,06	57	1,94	77	3,38	97	8,07
18	0,46	38	1,10	58	2,00	78	3,48	98	9,00
19	0,48	39	1,14	59	2,05	79	3,59	99	10,59
20	0,51	40	1,17	60	2,11	80	3,70		

З відпрацьованими газами дизелів у атмосферу надходять тверді частинки (ТЧ), до складу яких входять органічно розчинні фракції палива, сажа і оксиди сірки. Вимірюють масу твердих частинок у ВГ дизелів у грамах.

*Di çðàðóí î è î àñî àèò àèèèäâ ø èâèèèèèò ðà-î àèí  
ç ââîî ðàòóîî ààí èî è ààçàî è àâèèòíâ àí óò ðâ í ùî àî çàî ðàí í ÿ*

Концентрації шкідливих речовин у ВГ не можуть повністю характеризувати токсичність двигуна чи транспортного засобу в цілому, тому що кількість шкідливих речовин, що надходить в атмосферу, залежить не тільки від концентрації шкідливої речовини, а і від кількості продуктів згорання палива, тобто кількості ВГ.

Кількість шкідливих речовин, які надходять з ВГ у атмосферне повітря визначають їх масою. Залежно від того, в яких одиницях (% , млн<sup>-1</sup>, г/м<sup>2</sup>) та в яких ВГ (сухих, вологих чи розбавлених) виміряно концентрацію <sup>3</sup>-ї забруднюючої речовини (ЗР) їх масові викиди розраховують з використанням різних методик.

В більшості випадків кількість ВГ розраховують за витратою повітря і палива, що приймали участь у згоранні, або вимірюють спеціальними витратомірами. Масу забруднюючих речовин визначають за залежностями:

$$G_i = \frac{C_i''}{100} \cdot \mu_i \cdot M_{ВГ}, \text{ кг/год}; \quad G_i = \frac{C_i'}{10^6} \cdot \mu_i \cdot M_{ВГ}, \text{ кг/год}, \quad (5.6)$$

де  $C_i''$ , та  $C_i'$ ,  $i$  – концентрації  $i$ -ї шкідливої речовини, відповідно у % чи млн<sup>-1</sup>;

$\mu_i$  – молекулярна маса <sup>3</sup>-ї шкідливої речовини, кг/кмоль;

$M_{ВГ}$  – кількість продуктів згорання палива, кмоль/год.

Витрату розбавлених ВГ визначають лише дослідним шляхом спеціальними витратомірами. Витрата сухих  $M_{ВГ}^C$  і вологих  $M_{ВГ}^B$  відпрацьованих газів під час випробовувань також можна вимірювати спеціальними витратомірами, але частіше їх розраховують за виміряною витратою повітря і палива за рівняннями теорії двигунів:

$$M_{ВГ} = a \cdot (b \cdot G_{П} + G_{ПОВ}), \text{ кмоль/год}, \quad (5.7)$$

де  $G_{ПОВ}$  – годинна витрата повітря, кг/год.;

$G_{П}$  – годинна витрата палива, кг/год;

$a$  і  $b$  – розраховані коефіцієнти (наведені в табл. 5.11).

Зважаючи на те, що в різних режимах роботи в циліндри бензинових двигунів подають паливовітряну суміш різного складу (в режимах холостого ходу і дуже малих навантажень, а також за повного навантаження – збагачена, а в режимах середніх навантажень – збіднена) коефіцієнти  $a$  і  $b$  встановлені для випадків розрахунку кількості сухих і вологих продуктів згорання за умови згорання бідних і багатих сумішей та для різних видів палив.

Таблиця 5.4

**Значення розрахованих коефіцієнтів  $a$  і  $b$**

Вид палива	Для сухих продуктів згорання				Для вологих продуктів згорання			
	$\alpha \leq 1$		$\alpha > 1$		$\alpha \leq 1$		$\alpha > 1$	
	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$
Бензин	0,02259	6,104	0,03425	-1,0696	0,027	5,31	0,03425	1,058
Дизельне паливо			0,03425	-0,918			0,03425	0,924
Стиснутий природний газ	0,02137	7,0785	0,034215	-1,9567	0,02703	6,9367	0,03421	1,8269
Пропан автомобільний	0,02244	6,2746	0,03423	-1,3278	0,02704	5,882	0,03423	1,3272
Етиловий спирт	0,02193	4,090	0,034216	-0,6313	0,02703	4,0141	0,03422	1,268
Метанол	0,02163	3,0684	0,03420	-0,4555	0,02702	3,4696	0,03420	1,3719

Визначення маси частинок у ВГ здійснюють за концентраціями їх у вагових одиницях ( $\text{г/м}^3$ ) та об'ємом ВГ.

$$G_e = C_c \cdot V_{ВГ} \cdot 10^{-3}, \text{кг/год} \quad (5.8)$$

Об'єм ВГ, зведений до нормальних фізичних умов, розраховують за залежністю:

$$V_{ВГ} = M_{ВГ}^B \cdot 22,4 = 0,03425(G_{ПОВ} + 0,924 \cdot G_{П}) \cdot 22,4 \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.9)$$

Як оцінювальний показник токсичності двигунів і автомобілів часто застосовують питомі показники токсичності.

Зокрема, питомий показник, який показує кількість  $^3$ -ї шкідливої речовини, що припадає на одиницю потужності в одиницю часу:

$$g_i = \frac{G_i}{N_e} \cdot 10^3, \text{г/кВт}\cdot\text{год}, \quad (5.10)$$

де  $N_e$  – ефективна потужність двигуна, кВт.

Питомі викиди шкідливих речовин, віднесені до одиниці потужності, є основними оцінювальними показниками токсичності при визначенні норм викидів шкідливих речовин з ВГ автомобілів з повною масою більше 3500 кг і автобусів пасажиромістимістю більше 12 осіб.

Як питомий оцінювальний показник, можна застосовувати відношення кількості шкідливої речовини, що викидається з ВГ, до одиниці спожитого палива:

$$g_i' = \frac{G_i}{G_{\Pi}} \cdot 10^3, \text{ г/кг} \quad (5.11)$$

де  $G_{\Pi}$  – витрата палива двигуном, кг.

Крім того, як оцінювальний показник, застосовують пробігові викиди автомобіля, тобто кількість шкідливої речовини, що припадає на одиницю швидкості:

$$g_i'' = \frac{G_i}{V_a} \cdot 10^3, \text{ г/км} \quad (5.12)$$

де  $V_a$  – середня швидкість автомобіля, км/год.

Пробігові викиди шкідливих речовин є основними нормованими показниками токсичності автомобілів повною масою до 3500 кг у разі проведення випробувань автомобілів за їздовим циклом на стенді з біговими барабанами. Визначивши кількість шкідливої речовини у грамах за їздовий цикл і його довжину в км, завжди можна визначити питому витрату шкідливої речовини  $g_i''$  в г/км.

**Ді ґдао́і і е н́оі а́ді ео́ і а́ні а́ео́ а́е́е́а́а́ а́ е́а́е́е́а́е́о́ д́а́:і а́е́і ,  
ґа́а́а́а́і е́о́ а́і Н́і**

Міра впливу шкідливих речовин на організм людини залежить від їх концентрації, тривалості дії, індивідуальних особливостей людини і виду шкідливої речовини.

Кожній шкідливій речовині, за ступенем впливу на організм людини, властива певна агресивність чи небезпека. За одиницю відносної агресивності прийнято агресивність оксиду вуглецю CO. Значення коефіцієнтів відносної агресивності  $R_s$  для основних шкідливих речовин, що містяться у ВГ, наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5

**Значення коефіцієнтів відносної агресивності  $R_i$  основних шкідливих речовин, які містяться у ВГ автомобілів**

Шкідлива речовина	$R_i$
Оксид вуглецю, CO	1,0
Сірчистий ангідрид, SO <sub>2</sub>	22,0
Оксиди азоту в перерахунку за масою на NO <sub>2</sub>	41,1
Леткі низькомолекулярні вуглеводні C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> (пара рідких палив за вуглецем)	3,16
3,4 бенз(α)пірен	1260000
Формальдегід	240
Акролеїн	294
Ацетальдегід	41,6
Сажа без домішок, C (пил вуглецю без урахування домішок)	41,5
Неорганічні сполуки свинцю (за Pb)	22400
Тверді частинки, що викидаються бензиновими двигунами, що живляться неетилованим бензином	300
Тверді частинки, що викидаються бензиновими двигунами, що живляться етилованим бензином	500
Тверді частинки, що викидаються дизелями і установками, які спалюють мазут і газ	200

За масовими викидами окремих шкідливих речовин з урахуванням коефіцієнта відносної агресивності  $R_i$ , розраховують сумарні масові викиди, зведені до CO, тобто сумарну токсичність джерела забруднення, в умовних тоннах за певний період часу:

$$G_{\Sigma CO} = \sum_{i=1}^n R_i \cdot G_i \cdot 10^{-3}, \text{ ум.т} \quad (5.13)$$

Процентний внесок кожного компоненту у сумарну токсичність джерела забруднення визначають за залежністю:

$$g_i = \frac{G_i \cdot R_i}{G_{\Sigma CO}} \cdot 100, \%$$

За визначеними сумарними масовими викидами шкідливих речовин, зведеними до CO, маємо можливість порівнювати різні

джерела забруднення з огляду їх загальної токсичності або здійснювати оцінювання заходів, спрямованих на зменшення надходження забруднюючих речовин у довкілля.

**І ао і әеәә ді çðàòóí ёó âеёёä³а ø ё³аёёәёõ ðâ÷í âеí  
àâó î ì í á³ёíí ёì ò ðáí ñí î ðò î ì á ó í àâõ âеñí ёóàò àõ³ç**

Для здійснення розрахунку масових викидів шкідливих речовин в масштабі автомобільного парку підприємства або країни вцілому, за певний період часу, існують багаточисельні методики, але усі вони потребують застосування великої кількості вихідних даних – тип транспортного засобу, кількість робочих днів за певний період роботи, тривалість роботи транспортного засобу за день, його технічний стан і т. і. Проте витрата палива є тим визначальним параметром, який враховує вплив на економічність і токсичність роботи транспортного засобу багатьох експлуатаційних факторів, окрім вищеназваних. Це і організація руху, вплив дорожніх умов, майстерність водія тощо. Тому доречним є застосування методик, в яких розрахунки здійснюють за одним вихідним параметром, а саме за витратою палива.

Одна з таких методик, яка затверджена Мінстатом України, ґрунтується на використанні значень сумарної витрати палива за визначений період часу певним рухомим складом з урахуванням його технічного стану і встановлених величин питомих викидів шкідливих речовин з одиниці спожитого виду палива.

Питомі викиди вибирають за таблицями, наведеними в методиці, залежно від наявності статистичної звітності про витрату різних видів палив, типу автомобіля і двигуна, а також умов експлуатації.

Зважаючи на те, якою статистичною звітністю стосовно витрати палива ми володіємо, де відбувається експлуатація транспортного засобу та залежно від умов експлуатації, розрахунки масових викидів шкідливих речовин можна здійснювати у три способи:

1. Якщо відомо, яка кількість палива спожита під час пересування автомобіля певного типу в умовах міста ( $G_{1s}$ ), а яка – поза містом ( $G_{2s}$ ). Розрахунки здійснюють з використанням питомих викидів  $j$ -ї шкідливої речовини з одиниці маси певного виду палива, спожитого автомобілем певного типу в умовах руху містом і населеним пунктом чи поза ними (відповідно  $g_{j1i}$  та  $g_{j2i}$ ):

$$M_j = \sum_{i=1}^n (g_{j1i} \cdot G_{1i} + g_{j2i} \cdot G_{2i}) \cdot K_{\tau} \cdot 10^{-3}, \text{ т} \quad (5.14)$$

2. У разі відсутності даних щодо витрат палива автомобілями окремо в місті чи поза містом, маса шкідливих викидів визначається за усередненими питомими викидами<sup>-3</sup> шкідливих речовин ( $g_{j\phi i}$ ) з одиниці певного виду палива, яке спожито автомобілями певного типу:

$$M_j = \sum_{i=1}^n g_{j\phi i} \cdot G_i \cdot K_{\tau} \cdot 10^{-3}, \text{ т} \quad (5.15)$$

3. У випадку, коли нема даних стосовно витрати різних видів палив автомобілями різних типів, наближений розрахунок викидів шкідливих речовин рухомих складом автомобільного транспорту можна провести із застосуванням середнього питомого викиду  $j$ -ї шкідливої речовини ( $g_{jci}$ ) з одиниці маси витраченого палива певного виду:

$$M_j = \sum_{i=1}^m g_{jci} \cdot G_i \cdot K_{\tau} \cdot 10^{-3}, \text{ т} \quad (5.16)$$

В усіх трьох випадках обов'язковим є врахування коефіцієнта впливу технічного стану автомобілів на величину питомих викидів (табл. 5.6).

Відомо, що погіршення технічного стану транспортного засобу спричиняє збільшення викидів продуктів неповного згорання: оксиду вуглецю CO і вуглеводнів  $C_m H_n$ , а також сажі C. Вміст оксидів азоту  $NO_x$  в такому випадку зменшується.

Для двооксиду сірки  $SO_2$  і сполук свинцю *Pb* (на час запровадження методики в Україні ще не було заборонено використання етилованого бензину) цей коефіцієнт дорівнює 1, через те, що їх вміст у ВГ залежить лише від наявності у паливі, і технічний стан двигуна на їх вміст у ВГ не впливає.



Таблиця 5.6

**Значення коефіцієнтів впливу технічного стану  
автомобіля  $K_{\tau}$  на питомі викиди шкідливих речовин**

Групи автомобілів	Значення коефіцієнта $K_{\tau}$ для різних шкідливих речовин			
	CO	$C_mH_n$	$NO_x$	C
Вантажні автомобілі з ДВЗ, які працюють на бензині і зрідженому нафтовому газі (ЗНГ)	1,7	1,8	0,9	–
Вантажні автомобілі з дизелями	1,5	1,4	0,95	1,8
Автобуси з ДВЗ, які працюють на бензині і ЗНГ	1,7	1,8	0,9	–
Автобуси з дизелями	1,5	1,4	0,95	1,8
Вантажні автомобілі і автобуси з ДВЗ, які працюють на стисненому природному газі (СПГ)	1,7	1,8	0,9	–
Легкові службові і спеціальні легкові автомобілі, автомобілі індивідуальних власників з ДВЗ, які працюють на бензині і ЗНГ	1,5	1,5	0,9	–

**Примітка:**

Для двооксиду сірки і сполук свинцю  $K_{\tau} = 1$ .

Через те, що найбільш поширеною є статистична звітність про споживання палива певного виду за визначений період часу, тому переважно розрахунки здійснюються за третім методом.

Для прикладу в табл. 5.7 наведено значення середніх питомих викидів шкідливих речовин автомобілями, які живляться певним видом палива.

Таблиця 5.7

**Значення середніх питомих викидів шкідливих речовин  
(кг ШР з тонни спожитого палива)**

Вид палива	$g_{COc}$	$g_{CHc}$	$g_{NOxc}$	$g_{Cc}$	$g_{SO_2c}$	$g_{Pbc}$
Бензин	196,5	37,0	21,8	-	0,8	0,35
Зріджений нафтовий газ	196,5	37,0	21,8	-	0,3	-
Дизельне паливо	36,0	6,2	31,5	3,85	5,0	-
Стиснений природний газ	87,5	22,4	27,6	-	-	-

**Оцінювання соціально-економічного збитку, що завдається  
довкіллю забрудненням повітря шкідливими викидами  
автомобільного транспорту**

Соціально-економічний збиток – оцінювання в грошових одиницях негативних змін в довкіллі внаслідок його забруднення та порушення якості й кількості природних ресурсів, а також наслідків спричинених такими змін.

Прояви збитку полягають у погіршенні здоров'я людини (соціальний збиток), зменшенні врожайності сільськогосподарських культур на забруднених землях, зменшенні строків служби обладнання та інженерних споруд через корозію металів тощо.

Економічний збиток від забруднення довкілля складають такі витрати: додаткові витрати суспільства через зміни в навколишньому природному середовищі, витрати на відновлення природного середовища до попереднього стану, додаткові витрати майбутнього суспільства, зумовлені незворотними втратами частини дефіцитних ресурсів.

Послідовність визначення соціально-економічного збитку полягає у: визначенні номенклатури забруднювачів, що надходять із джерела забруднення; вимірюванні концентрацій шкідливих речовин, розрахунку масових викидів шкідливих речовин; встановленні економічного збитку.

Розрахунок збитку завданого основними шкідливими викидами автомобільного транспорту довкіллю здійснюють за певний період часу (частіше рік). "Временной типовой методикой определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого на-

родному хозяйству загрязнением окружающей среды" запропонована залежність, за якою здійснюють розрахунок збитку (5.17).

Для проведення розрахунків запропоновані значення нормативних коефіцієнтів, що входять у цю залежність, які вибрано з наведених таблиць для умов експлуатації автомобільного транспорту на території України.

$$Y = \gamma \cdot \sigma \cdot \sum_{i=1}^i G_i \cdot R_i \cdot f, \text{ грн} \quad (5.17)$$

де  $Y$  – оцінка збитку, грн/рік;

$\gamma$  – величина, що визначає завдану шкоду однією умовною тонною забруднюючих речовин, грн/умовн. т;

$\sigma$  – безрозмірний коефіцієнт відносної небезпеки, приймають залежно від території забруднення;

$f$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховують характер розсіювання газоподібних ЗР та частинок в атмосфері, вибирають із врахуванням швидкості осадження ЗР та природних умов;

$G_i$  – маса  $i$ -ї ЗР, що викидають автомобілі за певний період;

$R_i$  – коефіцієнт відносної агресивності ЗР.

Коефіцієнт  $\gamma$  – це і є фактично економічний збиток від забруднення однією умовною тонною ЗР, який мають встановлювати законодавчо і кількісно визначати із врахуванням індексації.

На період, коли було складено цю методичку, значення коефіцієнта  $\gamma$  становило 2,4 крб/умовн. т. За станом на 2000 р. з урахуванням курсу валют УНБ прийнято, що цей коефіцієнт становить  $\gamma = 24,6$  грн/умовн. т.

Значення безрозмірного коефіцієнта відносної небезпеки  $\sigma$  наведено в табл. 5.8. У разі якщо зона активного забруднення (ЗАЗ) неоднорідна і складається з територій різних типів, для яких  $\sigma$  мають різні значення, величину цього коефіцієнта визначають за формулою:

$$\sigma = \sum_{j=1}^K \frac{S_j}{S_{3AZ}} \cdot \sigma_j, \quad (5.18)$$

де  $S_{3AZ}$  – загальна площа зони активного забруднення;

$S_j$  – площа  $j$ -го типу території, що потрапила в зону забруднення;

$K$  – кількість типів територій, які потрапили в ЗАЗ.

Таблиця 5.8

## Значення показника відносної небезпеки забруднення

Тип забрудненої території	$\sigma$
Курорти, санаторії, заповідники, заказники	10
Приміські зони відпочинку, садові та дачні ділянки	8
Населені міста з щільністю населення $n$ чол./га*	$0,1 \text{ га/чол.} \cdot n$
Території промислових підприємств разом із захисними зонами	4
Ліси: 1 група	0,2
2 група	0,1
3 група	0,025
Рілля**: південні райони (південніше $50^\circ$ півн. ш.)	0,25
ЦЧР, Південний Сибір	0,15
інші райони	0,1
Сади, виноградники**	0,5
Пасовища, сіножаті**	0,05

## атмосферного повітря над територіями різних типів

ї деї зò èè:

\* Для центральної частини міст із населенням більше 300 тис. чол. незалежно від адміністративної щільності населення  $\sigma = 8$ .

\*\* Для зрошуваних земель вказаний коефіцієнт подвоюють.

Вважають, що для автомагістралей усіх типів зона активного забруднення – це смуга завширшки 200 м, центральна вісь якої співпадає з центральною віссю автомагістралі.

Значення поправки  $f$ , що враховує характер розсіювання домішок в атмосфері, залежить від виду домішок:

$f_1$  – для газоподібних домішок і легких дрібнодисперсних частинок з малою швидкістю осадження – менше 1 см/с;

$f_2$  – для частинок, які осідають зі швидкістю від 1 до 20 см/с;

$f_3$  – для частинок, які осідають зі швидкістю 20 см/с.

Характерним для викидів автомобілів є вміст у ВГ ДВЗ газоподібних домішок та твердих частинок, що перебувають в аерозольному стані. Отже, достатньо вибрати коефіцієнти  $f_1$  і  $f_2$ .

Окрім здатності частинок до осідання, визначальним є і геометрична висота  $h$  гирла джерела забруднення, значення модуля швидкості вітру  $u$  на рівні гирла, середньорічне значення різниці

температур  $\Delta T$  у гирлі джерела та оточуючого середовища. Для автомобільного транспорту забруднення відбувається поблизу землі. Отже, висота гирла джерела забруднення над середнім рівнем зони активного забруднення –  $h = 0$  м. Значення середньої швидкості вітру для України приймаємо за  $u = 3$  м/с, а середньорічне значення різниці температур у гирлі джерела і в оточуючому середовищі –  $\Delta T = 36$  °С

З таблиці, в якій наведено обчислені коефіцієнти  $f_1$  і  $f_2$ , для деяких названих параметрів вибираємо значення, потрібні для розрахунку збитку, якого завдає автомобільний транспорт за умови експлуатації на території України.

Для газоподібних речовин, що викидають автомобілі,  $f_1 = 1,49$ .

Для частинок, що надходять у повітря з аерозолями, –  $f_2 = 10$ .

Можливість порівняти розміри збитків та витрат, спрямованих на запровадження заходів щодо зменшення негативного антропогенного тиску на довкілля автомобільного транспорту, вирішує проблему визначення ефективності пропонує заходів.

Це також надасть можливість розробляти ефективні методи регулювання забруднення довкілля. Зокрема, здійснення розрахунків масових викидів та визначення збитків, яких транспортні засоби завдають довкіллю шкідливими викидами, необхідні при складанні екологічного паспорта підприємства та паспорта відходу.

### **5.3. Нормування шкідливих викидів автомобілів та їх двигунів**

Нормування екологічних показників автомобілів та їх двигунів проводять на стадії виробництва і в процесі експлуатації. На стадії виробництва (при схваленні типу автомобілів, перевірці відповідності серійної продукції та реєстрації) екологічні показники невеликих автомобілів перевіряють, випробовуючи транспортні засоби на стендах тягових якостей, а автомобілів великої вантажопідйомності та пасажиромісткості – випробовуючи їх двигуни на гальмових стендах.

У процесі експлуатації перевірку відповідності шкідливих викидів нормам проводять на транспортних засобах під час роботи двигунів в окремих режимах, які легко імітувати і які є характерними для експлуатації.

Згідно із Правилами і Директивами Європейської економічної комісії ООН (ЄЕК ООН) і Європейського Союзу (ЄС), прийнята така

- |                    |   |
|--------------------|---|
| 1. Категорія М     | – механічні транспортні засоби, які призначені для перевезення пасажирів і мають або не менше чотирьох коліс, або три колеса і максимальну масу більше 1 тонни;   |
| 1.1. Категорія М 1 | – транспортні засоби, які призначені для перевезення пасажирів і мають крім місця водія, не більше восьми сидячих місць;  |
| 1.2. Категорія М 2 | – транспортні засоби, які призначені для перевезення пасажирів і мають крім місця водія більше восьми сидячих місць та максимальна маса яких не перевищує 5 тонн; |
| 1.3. Категорія М 3 | – транспортні засоби, призначені для перевезення пасажирів і мають, крім місця водія, більше восьми сидячих місць та максимальна маса яких перевищує 5 тонн;      |
| 2. Категорія N     | – механічні транспортні засоби, які призначені для перевезення вантажів і мають або не менше чотирьох коліс, або три колеса і максимальну масу більше 1 тонни;    |
| 2.1. Категорія N 1 | – транспортні засоби, які призначені для перевезення вантажів, максимальна маса яких не перевищує 3,5 тонни;  |
| 2.2. Категорія N 2 | – транспортні засоби, які призначені для перевезення вантажів, максимальна маса яких більша 3,5 тонн, але не перевищує 12 тонн;                                   |
| 2.3. Категорія N 3 | – транспортні засоби, які призначені для перевезення вантажів, максимальна маса яких перевищує 12 тонн.   |

класифікація транспортних засобів:

За цією класифікацією і встановлюють методи випробувань та вимоги до транспортних засобів щодо викидів забруднювальних речовин та шуму.

В європейських країнах випробування і нормування транспортних засобів щодо викидів забруднювальних речовин здійснюють згідно із Правилами ЄЕК ООН та Директивами ЄС.

Правила ЄЕК встановлюють технічну процедуру випробувань. В них не вказують дату введення норм викидів. Допустимі величини викидів і терміни їх введення вказані в Директивах ЄС, і вони є обов'язковими для країн-членів ЄС.

Нормування викидів забруднювальних речовин транспортних засобів категорії М1 і N1 розпочалося в 1970 році, коли були прийняті Правила ЄЕК ООН №15 та Директива ЄС 70/220. Згідно з цими

документами обмежувалися викиди оксиду вуглецю  $CO$  та вуглеводнів  $CH$  автомобілями вказаних категорій з бензиновими двигунами. Випробування транспортних засобів згідно з Правилами ЄЕК ООН № 15 здійснюють на стенді з біговими барабанами за імітації умовного руху транспортного засобу за їздовим циклом – сукупністю характерних режимів руху автомобіля в умовах експлуатації в

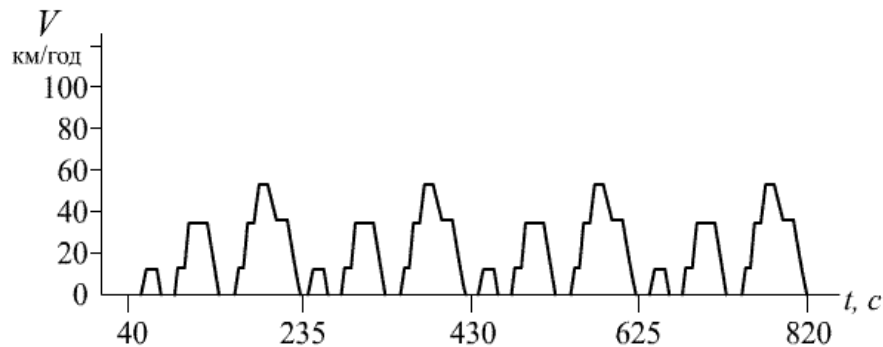


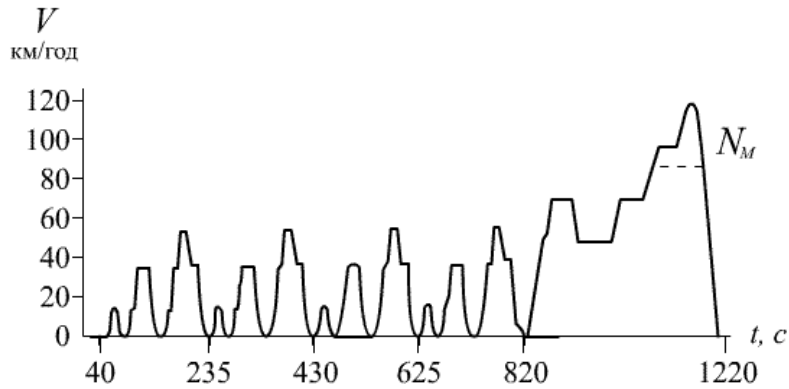
Рис. 5.20. Міський їздовий цикл ЄЕК згідно з Правилами № 15 та № 83

містах та населених пунктах (міський їздовий цикл ЄЕК – рис. 5.20).

Протягом наступних років до вказаних Правил та Директив приймалися поправки, в яких більш жорстко обмежували викиди  $CO$  і  $CH$  та ввели обмеження викидів  $NO_x$ , а також поширили застосування обмежень на автомобілі з дизелями.

В кінці 1987 року для цих категорій транспортних засобів, як подальший розвиток Правил № 15, були прийняті Правила ЄЕК № 83. Згідно з цими Правилами транспортні засоби випробовують за таким же циклом, як і за Правилами № 15 (міський їздовий цикл ЄЕК). Чинності цим Правилам надано з 1989 р. З часом до Правил №83 було прийнято низку поправок.

Правилами № 83-01 для випробування автомобілів категорії M1 вперше введено їздовий цикл, що включає чотири звичайних міських цикли, та додатковий цикл, що імітує рух автомобіля поза містом. Для автомобілів з двигунами невеликої потужності максимальна швидкість у додатковому циклі складає 90 км/год, для решти – 120 км/год (рис. 5.21, де  $N_m$  – для автомобілів з двигунами невеликої потужності).



**Рис. 5.21.** Їздовий цикл згідно із Правилами № 83-01

В 1998 році керівними органами Європейського Союзу погоджено перспективні норми на 2000 рік і на 2005 роки. Ці норми відомі як “Євро-3” і “Євро-4”. Їх величина їх і термін введення в дію для пасажирських автомобілів категорії M1 повною масою менше 2,5 т наведені в табл. 5.9.

Таблиця 5.9

**Норми викидів “Євро-3” і “Євро-4” пасажирськими автомобілями повною масою до 2,5 т згідно з Директивою 98/69/ЕС**

Випробувальний цикл	Шкідливі речовини
Міський цикл ЕЕК + заміський цикл	CH
	NO <sub>x</sub>
	CH+NO <sub>x</sub>
	CO
	Частинки



Норми викидів “Євро-3” і “Євро-4” для великих пасажирських автомобілів і легких вантажівок наведено в табл. 5.10.

Вказані норми введені в дію Директивою 98/69/ЕС. Крім більш жорстких норм викидів, останньою Директивою введено нові вимоги і до процесу випробування. Так, зокрема, запроваджено випробування за їздовим циклом з “холодним стартом”, коли відпрацьовані гази відбирають впродовж перших 40 с, коли двигун прогрівають. У попередніх Правилах і Директивах відбирання газів для аналізу починали після 40 с циклу (рис. 5.19 та 5.20).

Таблиця 5.10

**Норми викидів “Євро-3” і “Євро-4” пасажирськими автомобілями масою більше 2,5 т і легкими вантажівками масою до 3,5 т згідно з Директивою 98/69/ЕС**

Підкатегорія	Контрольна маса, $M_k$ , кг	Одиниці вимірювання	Термін введення	Гранична величина викиду				
				CO	CH	NO <sub>x</sub>	CH+NO <sub>x</sub>	Частинки
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>„Євро-3”</b>								
автомобілі з бензиновими двигунами								
I	$M_k \leq 1305$	г/км	01.2000	2,3	0,2	0,15	–	–
II	$1305 < M_k \leq 1760$		01.2001	4,17	0,25	0,18	–	–
III	$M_k > 1760$		01.2001	5,22	0,29	0,21	–	–
автомобілі з дизелями								
I	$M_k \leq 1305$	г/км	01.2000	0,64	–	0,5	0,56	0,05
II	$1305 < M_k \leq 1760$		01.2001	0,8	–	0,65	0,72	0,07
III	$M_k > 1760$		01.2001	0,95	–	0,78	0,86	0,1
<b>„Євро-4”</b>								
автомобілі з бензиновими двигунами								
I	$M_k \leq 1305$	г/км	01.2005	1,0	0,1	0,08	–	–
II	$1305 < M_k \leq 1760$		01.2006	1,81	0,13	0,1	–	–
III	$M_k > 1760$		01.2006	2,27	0,16	0,11	–	–
автомобілі з дизелями								
I	$M_k \leq 1305$	г/км	01.2005	0,5	–	0,25	0,3	0,025
II	$1305 < M_k \leq 1760$		01.2006	0,63	–	0,33	0,39	0,04
III	$M_k > 1760$		01.2006	0,74	–	0,39	0,46	0,06

З 01.01.2002 р. введено випробування транспортного засобу на стенді, що перебуває у кліматичній камері, за температури мінус 7 °С. Випробування проводять лише в режимах міського їздового циклу (протягом перших 780 с для автомобілів категорій М1 і N1 з контрольною масою до 1305 кг) з двигунами з іскровим запалюванням. Граничні норми викидів при цьому  $CO - 15$  г/км,  $CH - 1,8$  г/км.

Директива 98/69/ЕС з 01.01.2003 р. висуває вимогу щодо обладнання нових автомобілів категорій М1 і N1 бортовими діагностичними системами для контролю екологічних показників транспортних засобів. Бортова діагностика має забезпечити такий контроль, щоб ні в якому разі не було перевищено граничні викиди, встановлені Директивою 98/69/ЕС.

У несвропейських країнах нормування шкідливих викидів двигунів автотранспортних засобів, подібних до категорій М1 і N1, має свої особливості.

У Сполучених Штатах Америки (за винятком штату Каліфорнія) випробування проводять за режимами умовного руху автомобілів за міським їздовим циклом FTR-75 (рис. 5.22).

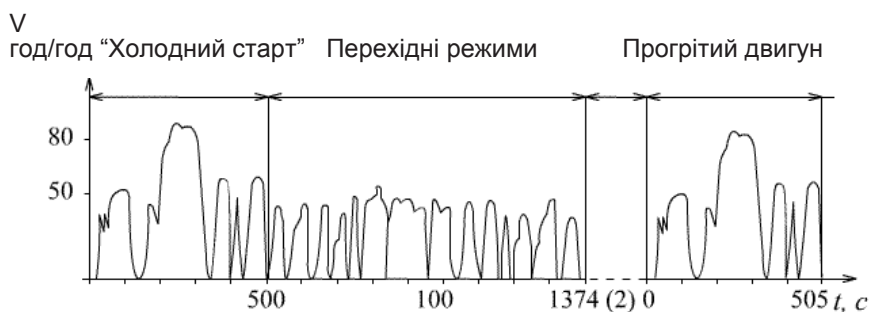


Рис. 5.22. Федеральний їздовий міський цикл FTR-75 (США)

Як видно з наведеного графіка, цей цикл, порівняно з європейським міським їздовим циклом, більш складний, зокрема через наявність перехідних режимів. Треба зазначити, що норми встановлені залежно від року вве-

Рис. 5.23. Магістральний їздовий цикл (США)

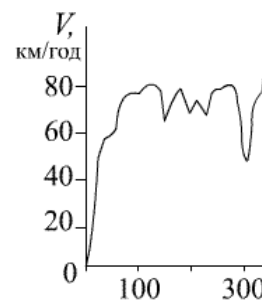


Рис. 5.23. Магістральний їздовий цикл (США)

дення моделі ТЗ (табл. 5.11), контроль здійснюють при пробігу 80 і 160 тис. км, передбачають нормування викидів CO при випробуванні автомобілів за температури мінус 7 °С.

Крім того, передбачено нормування викидів NO<sub>x</sub> при випробуванні автомобілів за магістральним циклом (рис. 5.23), умовний шлях якого становить 16,5 км, тривалість – 765 с, максимальна швидкість – 96,4 км/год, середня – 77,4 км/год. Допустима величина викидів NO<sub>x</sub> при випробуванні автомобілів за цим циклом становить 1,2 норми, визначеної для міського їздового циклу при пробігу у 80 тис. км.

Таблиця 5.11

**Гранично допустимі норми викидів забруднювальних речовин транспортними засобами згідно з випробуваннями за федеральним циклом FTR-75**

Забруднювальні речовини	Пробіг, км	Граничні величини викидів для автомобілів моделей випуску, г/км		
		1991 року	1994 року	2001 року
CH Неметанові CH	80000	0,25	0,25	
	80000		0,16	0,075
	160000		0,19	0,090
CO	80000	2,1	2,1	2,1
	160000		2,6	2,6
CO (-7 °C)	80000	–	6,2	2,1
NO <sub>x</sub> *	80000	0,62	0,25	0,124
	160000		0,37	0,185
	80000	0,62	0,62	0,124
NO <sub>x</sub> **	160000		0,78	0,185
	80000	0,124	0,05	0,05
Частинки**	160000		0,06	0,05

Примітки:  
\* Автомобілі з бензиновими двигунами.  
\*\* Автомобілі з дизелями.  
В Японії для визначення викидів забруднювальних речовин автомобілів з числом пасажирів менше 10 і контрольною масою менше 2,5 т проводять гарячі випробування (автомобілі з бензиновими двигунами і дизелями) за 10–15-режимним циклом (рис. 5.24) та за 11-режимним циклом (рис. 5.25).

Холодні випробування (автомобілі з бензиновими двигунами) за 10–15-режимним циклом мають умовний шлях 4,16 км, викону-

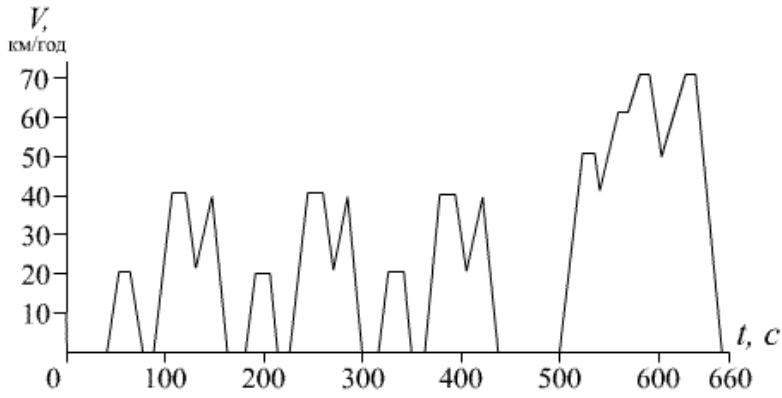


Рис. 5.24. 10–15-режимний їздовий цикл (Японія)

ють їх протягом 660 с, максимальна швидкість – 70 км/год, середня швидкість 22,7 км/год.

Одинадцятирежимний цикл має умовний шлях 1,021 км, час – 120 с, максимальну швидкість – 60 км/год, середню – 30,6 км/год. У процесі випробувань цикл повторюють 4 рази.

Норми викидів шкідливих речовин за Правилами Японії наведено в табл. 5.12. Встановлено середні норми, які застосовують, якщо об'єм імпорту перевищує 2000 автомобілів даної моделі. Для визначення середніх норм випробовують 1 % продукції. Випробування здійснюють у межах пробігу 30–80 тис. км.

Максимальні норми застосовують, коли об'єм імпорту менший 2000 автомобілів, тоді визначають максимальні викиди автомобілів серійного виробництва.

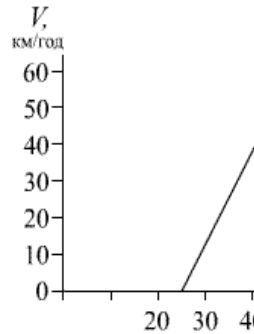


Рис. 5.25. Одинадцятирежимний їздовий цикл (Японія)

Рис. 5.25. Одинадцятирежимний їздовий цикл (Японія)

Таблиця 5.12

## Вимоги згідно із Правилами Японії

Випробувальний цикл	Шкідливі речовини	Тип двигуна автомобіля	Одиниці вимірювання	Норми викидів	
				Середня	Максимальна
11-режимний	CH	Бензиновий	г/випр.	7,0	9,5
	CO			60,0	85,0
	NO <sub>x</sub>			4,1	6,0
10-15-режимний	CH	Бензиновий	г/км	0,25	0,39
	CO			2,1	2,7
	NO <sub>x</sub>			0,25	0,48
10-15-режимний	CH	Дизель	г/км	0,4	0,62
	CO			2,1	2,7
	NO <sub>x</sub>			05/06*	0,72/0,84*
				0,4**	0,2**
	Частинки			0,2	0,34
	0,08**	0,14**			

**Примітки:**

\* Норми для автомобілів з контрольною масою менше/більше 1265 кг.

\*\* Нові норми для автомобілів моделей 1997/98 років (для імпортованих автомобілів з 4/2000).

Нормування шкідливих викидів двигунів транспортних засобів категорій M2, M3, N2 і N3 розпочалось у 1982 році, коли були прийняті Правила № 49. Ці правила стосуються лише автомобілів з дизелями, тому що бензинові двигуни на таких автомобілях в Європі не застосовують.

Проводять випробування дизеля, встановленого на гальмовому стенді за 13-режимним циклом. Режими циклу наведено в табл. 5.13.

У подальшому до цих Правил було прийнято поправки, а Європейським Союзом – аналогічні за методикою випробувань і нормами Директиви 88/77/ЄС і 91/542/ЄС.

Норми викидів встановлюють відносно одиниці виконаної дизелем роботи. В табл. 5.14 наведено чинні та перспективні норми викидів двигунами автомобілів категорій M1, M2, M3, N2 і N3 згідно із Правилами № 49 з поправками та Директив ЄС.

Таблиця 5.13

## Режими циклу згідно із Правилами № 49

Номер режиму	Частота обертання	Навантаження, %	Фактор вагомості режиму
1	$n_{xx \min}$	0	0,25/3
2	проміжна	10	0,08
3	- " -	25	0,08
4	- " -	50	0,08
5	- " -	75	0,08
6	- " -	100	0,25
7	$n_{xx \min}$	0	0,25/3
8	номінальна	100	0,1
9	- " -	75	0,02
10	- " -	50	0,02
11	- " -	25	0,02
12	- " -	10	0,02
13	$n_{xx \min}$	0	0,25/3

Таблиця 5.14

**Норми шкідливих викидів двигунами автомобілів  
категорій М1, М2, М3, N2 і N3**

Нормований документ	Рік введення	Викиди, г/(кВт·год)			
		оксиду вуглецю	вуглеводнів	оксидів азоту	частинки
Правила № 49	1982	14,0	3,5	18,0	—
Поправка „01”, Директива 88/77/ЄЕС	1990	11,2	2,4	14,4	—
Поправка „02” („Євро-1”) Директива 91/542/ЄЕС	1993	4,5	1,1	8,0	0,36
Доповнення до поправок „02” („Євро-2”), Директива 91/542/ЄЕС	1996	4,0	1,1	7,0	0,15
Поправка „03” („Євро-3”)	1999	2,0	0,5	4,5	0,10

Суттєві зміни щодо визначення екологічних показників великовантажних автомобілів відбулися ще у 1997 р. із внесення поправки до Директиви 88/77/ЄЕС. У 1999 р. цій поправці з деякими зміна-

ми було надано чинності Радою Міністрів і Парламентом ЄС. Згідно з цими поправками випробування великовантажних автомобілів і дизелів проводять за трьома циклами:

ESC – Європейський випробувальний цикл з усталеними режимами (European Steady State Cycle), близький до вищеописаного тринадцятирежимного циклу;

ELR – Європейський навантажувальний цикл (European Load Response Test) за режимами подібний до ESC, використовують при визначенні димності дизеля. Під час виконання цього циклу в кожному швидкісному режимі дизель навантажують без зміни частоти обертання і вимірюють димність. А потім визначають її середнє значення для кількох швидкісних режимів, яке порівнюють з нормативним;

ETC – Європейський випробувальний цикл з неусталеними режимами (European Transient Cycle). Цикл (рис. 5.26), складається з трьох сукупностей неусталених режимів, які відповідають режимам руху автомобіля міськими вулицями, сільськими і приміськими дорогами та швидкісними магістралями.

Цей цикл наближає умови проведення випробувань до реальних умов експлуатації транспортних засобів. Екологічні показники, визначені в цьому циклі, значно різняться від отриманих у циклі з усталеними режимами.



Рис. 5.26. Європейський випробувальний цикл з перехідними режимами

За пропозицією Європейської Комісії в поправки до Директиви 88/77/ЄЕС внесено вимоги до викидів забруднюючих речовин “екологічно чистими” транспортними засобами EEV (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle). Такі автомобілі доцільно застосовувати в місцях з високими вимогами до якості повітря.

Норми викидів двигунами великовантажних транспортних засобів за різних випробувальних циклів та термін їх введення (табл. 5.15 та 5.16) відомі як “Євро-3”, “Євро-4” та “Євро-5”.

Таблиця 5.15

**Норми шкідливих викидів великовантажних автомобілів при випробуванні за циклами ESC і ELR**

Рік введення	Викиди, г/кВт*год				Димність, м <sup>-1</sup>
	CO	CH	NO <sub>x</sub>	ТЧ	
2000 “Євро-3”	2,1	0,66	5,0	0,1   0,13*	0,8
2005 “Євро-4”	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
2008 “Євро-5”	1,5	0,46	2,0	0,02	0,15
Норми для EEV					
	1,5	0,25	2,0	0,02	0,15

Таблиця 5.16

**Норми шкідливих викидів великовантажних автомобілів при випробуванні за циклом ETC**

Рік введення	Викиди, г/кВт*год				
	CO	Неметанових вуглеводнів (NMCH)	Метану (CH <sub>4</sub> )**	NO <sub>x</sub>	твердих частинок (PT)**
2000 “Євро-3”	5,45	0,78	1,6	5,0	0,16   0,21*
2005 “Євро-4”	4,0	0,55	1,1	3,5	0,03
2008 “Євро-5”	4,0	0,55	1,1	2,0	0,03
Норми для EEV					
	3,0	0,4	0,65	2,0	0,2

**Ї òè ÷ èè:**

\* Для двигунів з об’ємом циліндрів менше 0,75 л і частотою обертання 3000хв<sup>-1</sup>.

\*\* Тільки для двигунів, що живляться природним газом.

\*\*\* Не відноситься до газових двигунів за “Євро-3”, “Євро-4”.



У США двигуни транспортних засобів з масою більше 3856 кг випробовують за циклом, що включає перехідні процеси і різне співвідношення частоти обертання і крутного моменту.

Для транспортних засобів з дизелями, крім викидів газоподібних та твердих частинок, обмежують димність відпрацьованих газів. Вперше обмеження димності було здійснено в 1972 р. Правилами ЄЕК № 24. Європейський Союз прийняв ці норми в Директиві 72/306.

Останні поправки серії 03 до цих Правил були внесені в 1986 р.

Згідно із Правилами № 24-03 димність вимірюють у режимі повного навантаження для шести усталених швидкісних режимів і в режимі вільного прискорення. Випробовування можна проводити окремо на дизелі або на транспортному засобі.

Нормованим параметром димності є натуральний показник ослаблення світлового потоку або коефіцієнт поглинання  $K$ , який характеризує оптичну густину відпрацьованих газів і вимірюється в  $m^{-1}$ .

Випробування в усталених режимах проводять за повного навантаження в шести швидкісних режимах у діапазоні від максимальної до мінімальної розрахованих частот обертання. Разом з тим, один швидкісний режим відповідає максимальній потужності, другий – максимальному крутному моменту. В кожному із шести швидкісних режимів розраховують номінальну витрату газу. Допустимий коефіцієнт поглинання залежить від об'єму відпрацьованих газів (табл. 5.17).

Таблиця 5.17

**Граничні значення натурального показника ослаблення світлового потоку (коефіцієнт поглинання  $\bar{E}$ )**

Номінальна витрата газу, л/с	Коефіцієнт поглинання $K$ , $m^{-1}$	Номінальна витрата газу, л/с	Коефіцієнт поглинання $K$ , $m^{-1}$	Номінальна витрата газу, л/с	Коефіцієнт поглинання $K$ , $m^{-1}$
≤ 42	2,26	95	1,535	150	1,225
45	2,19	100	1,495	155	1,205
50	2,08	105	1,465	160	1,19
55	1,985	110	1,425	165	1,17
60	1,90	115	1,395	170	1,155
65	1,84	120	1,37	175	1,14
70	1,775	125	1,345	180	1,125
75	1,72	130	1,32	185	1,11
80	1,665	135	1,30	190	1,095
85	1,62	140	1,27	195	1,08
90	1,575	145	1,25	≥200	1,065

*Примітка:* Хоча наведені величини округлені до 0,01 чи 0,005, це не значить, що вимірювання треба здійснювати з такою точністю.

Випробування в режимі вільного прискорення здійснюють із шестиразовим повторенням розгону і сповільненням дизеля без зовнішнього навантаження від мінімальної до максимальної частоти обертання. Як виміряне вважають середнє значення коефіцієнта поглинання за останні чотири розгони, коли значення цього коефіцієнта стабілізувалися і відрізняються між собою не більше як на  $0,25 \text{ м}^{-1}$ . Величину цього допустимого в режимі вільного прискорення коефіцієнта поглинання вибирають залежно від номінальної частоти обертання і крутного моменту дизеля. Для дизелів із турбонаддувом значення коефіцієнта поглинання в режимі вільного прискорення не повинно перевищувати більш як на  $0,5 \text{ м}^{-1}$  значення максимального коефіцієнта поглинання, заміряного при випробуваннях в усталеному режимі.

У США димність відпрацьованих газів дизелів нормують у трьох режимах роботи, що чергують за спеціальним алгоритмом. Ці режими включають прискорення та сповільнення. Граничне значення усередненої величини димності, визначене повнопотоковим димоміром, у режимі прискорення не повинно перевищувати 20 %, в режимі сповільнення – 15 %. Максимальне разове значення димності в обох режимах не повинно перевищувати 50 %.

В Японії димність відпрацьованих газів нормують при випробуваннях дизеля за циклом, який включає усталені режими з повним навантаженням і частотами обертання  $0,4 \dot{n}_N$ ,  $0,6 \dot{n}_N$  та  $\dot{n}_N$ , а також у режимі вільного прискорення. Граничне значення димності 50 %. З 1995 року для автомобілів масою менше 1700 кг, а з 1996 року для всіх автомобілів норма становить 40 %.

Вимоги до автомобілів з бензиновими двигунами категорій M2, M3, N2 і N3 стосовно викидів шкідливих речовин визначені ОСТ 37.001.070-75. Випробування проводять з чотириразовим повторенням 9-ступеневого циклу, режими якого наведено в табл. 5.18. За концентраціями оксиду і діоксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту і витрати палива за 1 годину розраховують масові викиди шкідливих речовин у кожному режимі.

Таблиця 5.18

## Режими циклу випробування двигунів згідно з ОСТ 37.001.070-75

Режим	Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	Розрідження у впускній трубці, мм рт. ст	Тривалість режиму, с	Сумарний час, с	Фактор вагомості режиму
1	$n_{xx \text{ мін}}$	–	70	70	0,232
2	2000	405	23	93	0,077
3	2000	255	44	137	0,143
4	2000	405	23	160	0,077
5	2000	480	17	177	0,057
6	2000	405	23	200	0,077
7	2000	73	34	234	0,113
8	2000	405	23	257	0,077
9	2000	дросельна заслінка закрита повністю (примусовий х.х.)	43	300	0,143

Перевірка транспортних засобів на токсичність відпрацьованих газів та їх димність передбачена не лише на стадії виробництва, а й у процесі експлуатації. Згідно з Директивою ЄС 77/143 та змінами до неї, зареєстрованих за номером 96/96/ЄС, автомобілі з двигунами з іскровим запалюванням перевіряють на вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах під час роботи двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу. Граничні значення вмісту СО для автомобілів без систем нейтралізації випуску до 1986 р. становлять – 4,5 %, після 1986 р. – 3,5 %. Для автомобілів з системою нейтралізації в режимі мінімальної частоти обертання – 0,5 %, підвищеної (не менше 2000 хв<sup>-1</sup>) – 0,3 %.

Для автомобілів з дизелями контроль димності відпрацьованих газів здійснюється в режимі вільного прискорення. Значення димності повинно відповідати рекомендаціям заводу-виробника. Якщо таких рекомендацій нема або контрольна служба вважає їх неприйнятними, граничні значення димності становлять для дизелів без наддуву 2,5 м<sup>-1</sup>, із наддувом – 3,0 м<sup>-1</sup>.

В Україні контроль в умовах експлуатації екологічних показників автомобілів, двигуни яких живляться бензином і газовим паливом, та відповідність екологічних показників нових автомобілів здійснюють за ДСТУ 4277:2004 “Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі”, чинним від 2004-07-01.

Згідно з цим стандартом встановлено гранично допустимий вміст оксиду вуглецю і вуглеводнів у ВГ автомобілів, не обладнаних та обладнаних нейтралізаторами. Перевіряють у двох режимах роботи двигуна: мінімальної і підвищеної частот обертання холостого ходу. Якщо значення цих частот не встановлено підприємством-виробником у технічних умовах чи документах з експлуатації автомобіля, то перевірку здійснюють за  $n_{\text{мін}} = 800 \text{ хв}^{-1} \pm 100 \text{ хв}^{-1}$  і  $n_{\text{підв}} = 2200 \text{ хв}^{-1} \pm 100 \text{ хв}^{-1}$ .

Таблиця 5.19

**Гранично допустимий вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів у ВГ автомобілів:**

**– не обладнаних нейтралізаторами**

Паливо	Режим	Оксид вуглецю, %	Вуглеводні, млн <sup>-1</sup> для двигунів із числом циліндрів	
			до 4, включно	більше ніж 4
Бензин	$n_{\text{мін}}$	3,5*	1200	2500
	$n_{\text{підв}}$	2,0	600	1000
Газ природний	$n_{\text{мін}}$	1,5	600	1800
	$n_{\text{підв}}$	1,0	300	600
Газ нафтовий	$n_{\text{мін}}$	3,5	1200	2500
	$n_{\text{підв}}$	1,5	600	1000

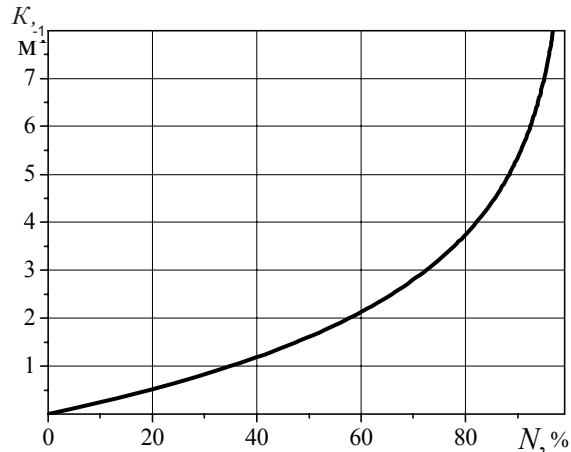
**Примітка:**

\* Для автомобілів, уперше зареєстрованих до 1 жовтня 1986 р., допустимий вміст оксиду вуглецю становить 4,5 %.

**– обладнаних нейтралізаторами**

Режим	Окиснювальними		Трикомпонентними	
	Оксид вуглецю, %	Вуглеводні, млн <sup>-1</sup>	Оксид вуглецю, %	Вуглеводні, млн <sup>-1</sup>
$n_{\text{мін}}$	1,0	600	0,5	100
$n_{\text{підв}}$	0,6	300	0,3	100

Контролювання в умовах експлуатації димності автомобілів з дизелями або газодизелями та визначення відповідності димності нових автомобілів здійснюють згідно з ДСТУ 4276:2004, чинного від 2004-07-01. За цим стандартом основним показником димності є натуральний показник ослаблення світлового потоку  $K$ , м<sup>-1</sup>, допоміжним – коефіцієнт ослаблення світлового потоку  $N$ , %.



Залежність між коефіцієнтом ослаблення світлового потоку  $N$  і натуральним показником ослаблення світлового потоку  $K$  наведено на рис. 5.27. Перерахунок значень  $N$  в  $K$  здійснюють за формулою

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right)$$

Рис. 5.27. Залежність між коефіцієнтами  $N$  і  $K$

де  $K$  – натуральний показник ослаблення світлового потоку,  $\text{м}^{-1}$ ;  
 $L$  – ефективна база димоміра,  $\text{м}$ ;  
 $N$  – коефіцієнт ослаблення світлового потоку, %.

Димність відпрацьованих газів автомобілів (двигунів), сертифікованих відповідно до ДСТУ UN/ECE R-24-03 (Правил ЄЕК ООН № 24-03) або Директиви 72/306/ЄЕС (що визнана еквівалентною Правилам ЄЕК ООН № 24-03), не повинна перевищувати значень, вказаних у документі про сертифікацію. Димність відпрацьованих газів автомобілів (двигунів), не сертифікованих відповідно до названих документів у режимі вільного прискорення, не повинна перевищувати значень, наведених у табл. 5.20.

Таблиця 5.20

**Гранично допустимі значення натурального показника ослаблення світлового потоку  $\dot{E}$**

Об'єкт випробувань	Гранично допустиме значення натурального показника ослаблення світлового потоку $K$ , $\text{м}^{-1}$
Автомобілі з дизелями:	
– без наддуву;	2,5
– з наддувом	3,0
Автомобілі з газодизелями:	
– без наддуву;	1,7
– з наддувом	2,0

## **Аêî ëî ã³í èé î àñî î ðò î äïî ðè°î ñò âà ° î àñî î ðò â³äõî äó**

Нормативним документом, за яким складають паспорт підприємства, є чинний на території України ГОСТ 17.0.0.04-90 “Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Экологический паспорт промышленного предприятия. Основные положения”.

*Екологічний паспорт підприємства* – основний документ, що комплексно характеризує стан природоохоронних робіт на підприємствах, у тому числі й на транспортних.

Розробляє екологічний паспорт саме підприємство на основі аналізу й узагальнення результатів діяльності підприємства, а затверджує керівник. Починають розробку екологічного паспорта із складання схеми-карти підприємства з нанесенням на неї “рози вітрів”, особливостей ландшафту, джерел забруднення атмосфери, водних об’єктів, місць складування відходів, водозаборів, меж санітарно-захисної зони.

Складається екологічний паспорт з таких розділів:

- титульний лист;
- загальні відомості про підприємство, його реквізити, а також висвітлюються основні види діяльності, джерела забруднення і вказують точки, в яких здійснюється контроль;
- коротка природно-кліматична характеристика району розташування підприємства (метрологічні параметри, коефіцієнти розсіювання і фонові концентрації забруднювальних речовин в атмосфері регіону, коефіцієнт рельєфу місцевості за даними органів або комітетів з екології і природокористування);
- відомості про використання земельних ресурсів (відведення земель під будівлі і споруди, підсобне виробництво, адміністративно-побутові корпуси, майданчики для розміщення відходів, озеленення територій і т. і.);
- характеристика сировини, використовуваних матеріальних і енергетичних ресурсів (для автопідприємств мається на увазі витрати різних видів ресурсів на виконання перевізного процесу і підтримування справним технічний стан рухомого складу), що визначаються за балансовою схемою матеріальних потоків, статистичною звітністю та результатами інвентаризації;
- характеристика викидів в атмосферу (наводяться норми ГДК і фактичні обсяги для кожного забруднювача);
- характеристика водопостачання і водовідведення (відомості включають загальні та питомі показники споживання і стоку води,

дані про склад і властивості стічних вод, параметри очисних споруд і водозворотних систем, додається також балансова схема водоспоживання і водовідведення і вказуються витрати і втрати води на кожній виробничій ділянці);

– характеристика відходів (вказуються вимоги до розміщення відходів, нормативи і фактичні обсяги, токсичні властивості);

– відомості про транспорт підприємства, мається на увазі і транспортний цех будь-якого промислового підприємства (наводяться кількісний склад транспортних засобів, загальний пробіг рухомого складу, питомі викиди основних забруднювальних речовин, а також сумарні річні викиди);

– відомості про еколого-економічну діяльність підприємства (ліміти на використання природних ресурсів, викиди і скиди забруднювальних речовин у довкілля і розміщення відходів, нормативи плати і розміри екологічних платежів, податкові пільги за впровадження “чистих технологій” тощо.

Відомості паспорта використовують для контролю діяльності підприємства. У разі заміни технології, складу обладнання і водного балансу підприємства необхідно внести відповідні зміни в екологічний паспорт.

**Öäõí ¾í èé í àñí î ðò áäõí äó ñëëääàþ ò ü çà ÄÑÖÖ 2195-93 “Öäõí ¾í èé í àñí î ðò áäõí äó. Ñëëää, âì ¾ò , âèèèääí í ý ò à í ðà-âèèè âí àñáí í ý çì ¾”.**

Цей стандарт розроблено в Україні та введено як міжнародний, тобто його чинність поширюється на всі країни, які входять у Співдружність Незалежних Держав. Він належить до того самого комплексу стандартів, які повинні організувати господарчу діяльність так, щоб шкідливі для біосфери речовини циркулювали, не вторгаючись у неї.

*Технічний паспорт відходу* – нормативно-інформаційний документ, що включає у себе дані про місце, умови та обсяг утворення відходу, його технічні, фізико-хімічні та інші параметри, методи їх контролю та межі значень, а також відомості про існуючі або можливі технології переробки відходу. Технічний паспорт відходу складають відповідно до екологічного паспорта підприємства.

## ДІЇ 6

### МЕТОДИ ПОКРАЩАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ

---

#### 6.1. Зменшення шкідливих викидів автомобілів їх нейтралізацією та уловлюванням

Зменшення вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах оптимізацією процесу згоряння – найперспективніший захід, тому що продуктів неповного згоряння  $CO$  і  $C_mH_n$  легше позбутися на стадії їх утворення.

Проте уникнути вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах неможливо. Тому шкідливі компоненти відпрацьованих газів у випускній системі двигуна нейтралізують спеціальними пристроями – нейтралізаторами.

Для нейтралізації необхідно забезпечити перебіг як окисних реакцій – для окислення продуктів неповного згоряння палива  $CO$  і  $C_mH_n$  до продуктів повного згоряння  $CO_2$  і  $H_2O$ , так і відновних реакцій – для розкладання оксидів азоту  $NO_x$  у вихідні речовини  $O_2$  і  $N_2$ .

Для очищення відпрацьованих газів дизеля від сажі застосовують спеціальні пристрої-уловлювачі.

#### Для прискорення перебігу окисних і відновних реакцій в нейтралізаторах застосовують різні каталізатори (прискорювачі реакцій).

Залежно від здатності активізувати ті або інші реакції каталізатори поділяють на: *окисні*, які прискорюють перебіг реакції окислення оксиду вуглецю і вуглеводнів; *відновні* – для відновлення оксидів азоту; *двофункціональні*, які одночасно активізують окисні та відновні реакції.

Широкого поширення у практиці очищення автомобільних відпрацьованих газів (ВГ) набули каталізатори на основі благород-



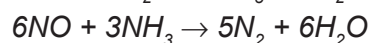
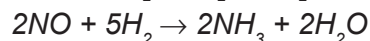
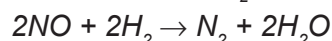
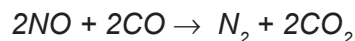
них металів – паладію (*Pt*) і платини (*Pt*). Вони мають хорошу селективність, низькі температури початку ефективної роботи, досить довговічні. Платина – універсальний каталізатор. Але каталізаторами, в реакціях відновлення  $NO_x$ , можуть виступати також родій (*Ro*) і рутеній (*Ru*). Широкого поширення ці нейтралізатори не набувають через їх високу вартість. В окисних і відновних реакціях можна застосовувати відносно дешеві каталізатори на основі міді, марганцю, нікелю, хрому і т. д. ( $CuO$ ,  $MnO_2$ ,  $NiO$ ,  $Cr_2O_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $ZnO$ ). Але ці каталізатори недовговічні, і їх ефективність значно менша за платино-паладієві. Тому, незважаючи на високу вартість, частіше застосовують каталізатори на основні благородних металів.

Будова каталізаторів така: активний каталітичний прошарок нанесено на інертне тіло-носії. Найпоширенішими є гранульовані і блочні (монолітні) носії.

Гранульовані носії виготовляють з оксиду алюмінію чи алюмосилікатів. Гранули діаметром 2–5 мм мають розвинену, крупно-порувату поверхню – 50–100 м<sup>2</sup>/г.

У двигунах із звичайною системою живлення один і той самий каталітичний нейтралізатор може виконувати роль прискорювача окисних чи відновних реакцій. Через те, що в одному нейтралізаторі важко досягти ефективного очищення відпрацьованих газів від найпоширеніших трьох шкідливих речовин ( $CO$ ,  $C_mH_n$  і  $NO_x$ ), як правило, застосовують подвійну систему очищення. В першу чергу, це стосується бензинових двигунів, які живляться збагаченими сумішами. В системі подвійного очищення є два нейтралізатори, розташовані в одному блоці.

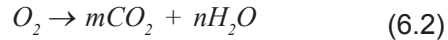
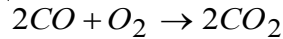
В першому нейтралізаторі відбувається відновлення  $NO_x$  до  $N_2$  в результаті реакцій:



Перебіг третьої реакції має переваги перед другою. Четверта реакція можлива навіть в окисному середовищі. У відпрацьованих газах бензинових двигунів з іскровим запалюванням, оксиди азоту приблизно на 99 % складаються з  $NO$ .

У другому нейтралізаторі для створення окисного середовища, тобто для окислення  $CO$  і  $C_mH_n$  додатковим патрубком підводять

повітря. На окисному каталізаторі нейтралізуються продукти неповного згоряння:



У каталітичних нейтралізаторах окислення оксиду вуглецю в  $CO_2$  відбувається при температурі 250–300 °С, вуглеводнів, бенз( $\alpha$ )пірена, альдегідів – при температурі 400–450 °С. При температурі понад 580 °С вигорає сажа.

На рис. 6.1 показана конструктивна схема гранульованого каталітичного нейтралізатора.

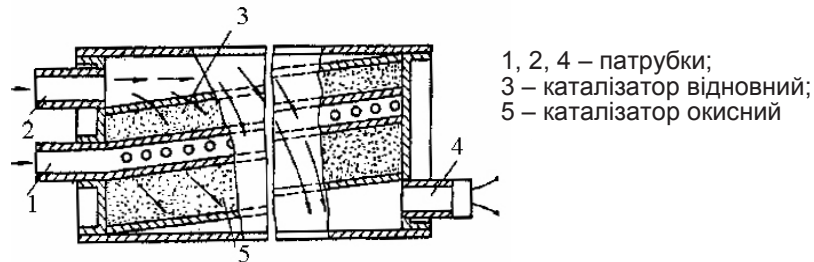


Рис. 6.1. Конструктивна схема каталітичного нейтралізатора

Відпрацьовані гази патрубком 2 надходять у верхню частину нейтралізатора 3, де при нестачі кисню відбуваються реакції відновлення  $NO_x$  до  $N_2$ .

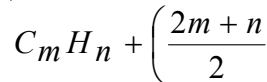
Далі відпрацьовані гази надходять у нижню частину нейтралізатора 5, де відбуваються реакції окислення  $CO$  і  $C_mH_n$  з подавання патрубком 1 додаткового повітря.

Хороших результатів досягають застосуванням подвійних нейтралізаторів у разі регулювання двигунів на стехіометричні чи дещо збагачені суміші.

Випробування автомобіля, оснащеного каталітичного нейтралізатора за їздовим циклом довели зменшення концентрації  $CO$  і  $C_mH_n$  на 40 %,  $NO_x$  – на 75 %.

Широке застосування каталітичних нейтралізаторів у нашій країні гальмується їх високою вартістю, недовговічністю, а також використанням етилованих бензинів. Окрім того, застосування каталітичних нейтралізаторів дещо зменшує потужність і погіршує паливну економічність двигуна.

Сполуки свинцю дезактивують каталізатори протягом 100 годин живлення етилованим бензином.

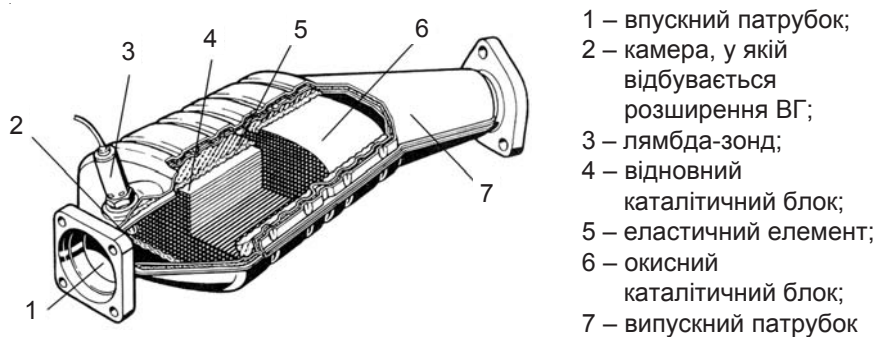


Ефективність роботи нейтралізаторів в умовах експлуатації погіршується і через сульфатацію носія двооксидом сірки ( $SO_2$ ) в результаті високого вмісту сірки у паливах. Сульфат алюмінію, який утворюється під час хімічних реакцій, зменшує активну порувату поверхню носія нейтралізатора і цим самим погіршує ефективність його роботи.

Останнім часом поширення набули блочні або моноблочні каталітичні нейтралізатори без додаткового подавання повітря. В таких нейтралізаторах відпрацьовані гази проходять поздовжніми чи радіальними каналами, які виконано в тілі блока нейтралізатора. Канали виконують трикутними чи прямокутними з гідравлічним діаметром близько 1 мм. Матеріалом блока є оксид алюмінію  $Al_2O_3$ , кордієрит й інші, що мають велику питому поверхню від 20 до 25  $m^2/g$ . На поверхню матеріалу блока наноситься окислювально-відновлювальний каталізатор.

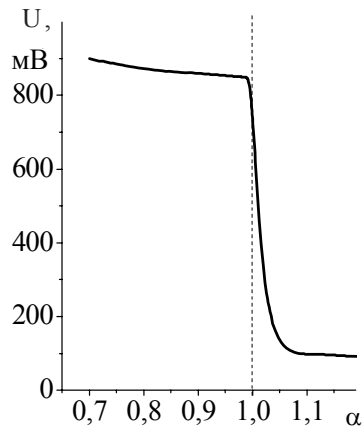
Окрім того, блок-носій у моноблочних нейтралізаторах виготовляють із кераміки стільникової структури (62 чарунки на  $cm^2$ ) або з гофрованої фольги з нержавіючої сталі.

Блочні чи моноблочні каталітичні нейтралізатори встановлюються на автомобілях з системами живлення, які мають як електронне керування подачею палива у двигун, так і звичайні системи живлення.



**Рис. 6.2.** Принципова схема двоблочного каталітичного нейтралізатора

У системах живлення з електронним керуванням подачею палива ефективність очистки відпрацьованих газів значно вища, ніж у звичайних системах. Досягають цього стабілізацією складу суміші, що надходить у двигун, до стехіометричного ( $\alpha \approx 1$ ). Щоб досягти цього, застосовують принцип регулювання подачі палива із зворот-



**Рис. 6.3.** Залежність зміни напруги на електродах кисневого датчика від складу суміші

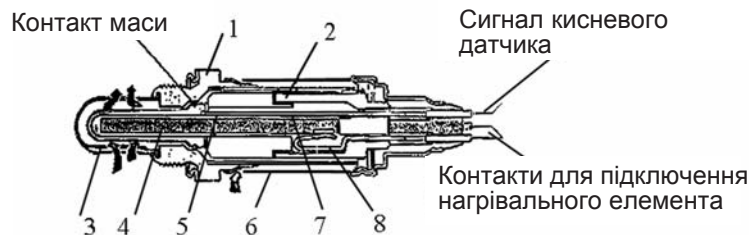
ним зв'язком, практично регулювання складу суміші здійснюють за складом відпрацьованих газів (за вмістом кисню у відпрацьованих газах).

Як сигнал зворотного зв'язку використовують електричний сигнал кисневого датчика (або, як його ще називають,  $\lambda$  – зонду). Чутливий елемент кисневого датчика, як правило, виконують з двооксиду цирконію і розміщують між двома платиновими електродами. При температурі чутливого елемента 300 °С і більше двооксид цирконію стає провідником іонів кисню. За наявності різних концентрацій кисню зовні і в середині чутливого елемента на платинових електродах виникає різниця потенціалів, зумовлена властивостями використаних матеріалів.

Виникає напруга, яка залежить від вмісту кисню у відпрацьованих газах, що може змінюватися від 100 до 1000 мВ (див. рис. 6.3). Зміна напруги на електродах відбувається миттєво за умови зміни складу суміші від  $\alpha \approx 0,98$  до  $\alpha \approx 1,02$ .

Цей електричний сигнал кисневого датчика використовується в системі регулювання подачею палива для підтримування  $\alpha \approx 1$ .

Конструкція кисневого датчика показана на рис. 6.4. В різних системах живлення можуть використовуватися як обігрівані, так і необігрівані кисневі датчики.



**Рис. 6.4.** Обігріваний кисневий датчик:

1 – корпус датчика; 2 – опорна керамічна трубка; 3 – захисний ковпачок із щілинами; 4 – зонд з активної кераміки; 5 – контактна частина; 6 – захисна втулка; 7 – нагрівальний елемент; 8 – затискачі для підключення нагрівального елемента

Зовні зонд з активної кераміки (двооксид цирконію) омивають відпрацьовані гази, внутрішня його частина знаходиться в контакті з повітрям навколишнього середовища. Зовнішня і внутрішня поверхні активної кераміки чутливого елемента вкриті газопроникним платиновим покриттям, що є платиновими електродами. Окрім того, на зовнішню поверхню активної кераміки нанесено захисне керамічне покриття, що захищає його від впливу шкідливих речовин, які містяться у відпрацьованих газах.

Ефективність роботи каталітичного нейтралізатора оцінюють коефіцієнтом ефективності нейтралізації шкідливих речовин, що містяться у відпрацьованих газах:

$$E_i = \frac{K_{i.ВХ} - K_{i.ВИХ}}{K_{i.ВХ}} \cdot 100,$$

де  $K_{i.вх}$  – концентрація  $i$ -ї шкідливої речовини на вході в нейтралізатор;

$K_{i.вих}$  – концентрація  $i$ -ї шкідливої речовини на виході з нейтралізатора.

Коефіцієнт ефективності нейтралізації відпрацьованих газів сучасних нейтралізаторів за трьома основними компонентами становить:  $E_{\text{NH}_3} \approx 85\%$ ,  $E_{\text{CO}} \approx 93\%$ ,  $E_{\text{NO}_x} \approx 95\%$ .

На рис. 6.5 показано дослідні залежності ефективності роботи моноблочного каталітичного нейтралізатора фірми KEMJRA, встановленого на двигуні МемЗ–245.

Характеристика отримана за частоти обертання колінчастого вала  $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$  і розрідження у впускному трубопроводі  $\Delta p_k = 42 \text{ кПа}$ , температура відпрацьованих газів на вході в нейтралізатор становить  $440\text{--}450 \text{ }^\circ\text{C}$ , на виході з нейтралізатора –  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В діапазоні зміни  $\alpha$  від 0,9 до 0,99 дуже швидко відбуваються як окисні, так і відновні реакції, що забезпечує ефективне очищення відпрацьованих газів від вмісту основних токсичних компонентів –  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$  і  $\text{NO}_x$ .

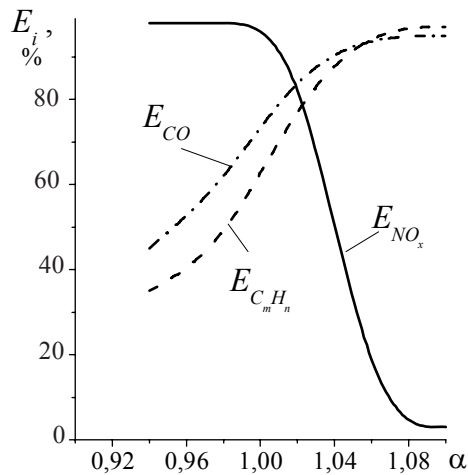


Рис. 6.5. Ефективність роботи каталітичного нейтралізатора

## Інженерні методи розрахунку

Для бензинових двигунів навіть у разі живлення збідненими сумішами ( $\alpha = 1,05-1,1$ ) характерна низька концентрація вільного кисню у відпрацьованих газах, а у разі збагачених сумішей (з коефіцієнтом надміру повітря  $\alpha < 1$ ) вільний кисень майже відсутній. Саме коли  $\alpha < 1$ , утворюються продукти неповного згоряння палива  $CO$  і  $C_mH_n$ .

Для їх нейтралізації необхідно у впускну трубу подати додаткову кількість повітря з таким розрахунком, щоб сумарний коефіцієнт надміру повітря (з урахуванням повітря, яке подають у циліндри двигуна) був не меншим за  $\alpha = 1,05$ .

В результаті, за високої температури ( $700\text{ }^\circ\text{C}$ ) відбувається реакція окиснення. Такі системи практично не впливають на вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах.

Найпоширенішим типом пристроїв, які забезпечують подавання повітря, є нагнітач ротаційного типу з приводом від колінчастого вала. В автомобілі ГАЗ-24 з карбюратором, який виконано з граничним відхиленням у сторону збагачення суміші, подача нагнітача, що дорівнює  $60\text{ м}^3$ , забезпечує умови для очищення ВГ від оксидів вуглецю на  $90-95\%$ , від вуглеводнів – на  $70-85\%$ .

Простішим пристроєм, який з достатньою для практичних цілей точністю дозує подавання додаткового повітря на усіх режимах роботи двигуна, є ежектор (рис. 6.6).

Ежектор складається із сопла 1, змішувальної камери 2, дифузора 3. Недолік ежектора – підвищений газодинамічний опір при

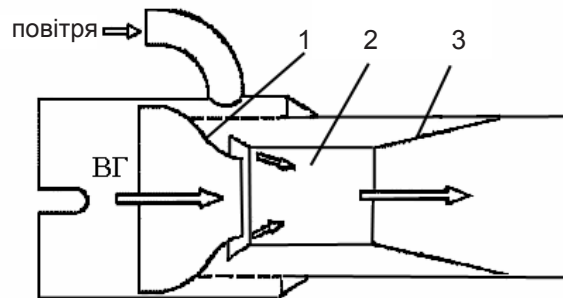


Рис. 6.6. Схема ежектора

максимальних витратах ВГ і викиданні ВГ патрубком впуску додаткового повітря в режимах холостого ходу, який можна усунути встановлюванням у цьому патрубку малоінерційного зворотного клапана типу пульсара.

### Оади 3:í à í áéò ðàè3çàö3ÿ

При термічній нейтралізації продуктів неповного згоряння палива  $CO$  і  $C_mH_n$ , які містяться у ВГ двигунів, відбувається їх окислення до кінцевих продуктів  $CO_2$  і  $H_2O$  у випускній системі. Цей процес інтенсифікує створення в системі випуску умов, сприятливих для окислення, тобто підвищення температури і збільшення часу реакції та подавання в зону окислення додаткового повітря.

Термічний нейтралізатор – це теплоізольований об'єм зі спеціальною організацією перетікання ВГ, який вставляють у випускную систему двигуна, що здійснює термічне доокислення токсичних компонентів завдяки теплоті ВГ (рис. 6.7). Термічна нейтралізація не залежить від виду палива, яке спалюють, наявності присадок і дозволяє застосовувати у двигунах етилований бензин. Підвищити температуру ВГ у нейтралізаторі можна, зменшуючи теплові втрати застосуванням екранів, теплоізоляцією корпусу нейтралізатора, використанням теплоти реакції окислення. Для двигунів, які живляться збагаченими сумішами, додаткове повітря перед подаванням у реакційну камеру нейтралізатора рекомендують підігрівати від гарячих стінок системи випуску ВГ.

Ефективність окислення  $CO$  і  $C_mH_n$  залежить від температури, довготривалості реакції, кількості повітря, що подають, і якості його змішування з ВГ.

Концентрація оксидів азоту у ВГ у разі застосування термічних нейтралізаторів може дещо зростати в окремих режимах роботи двигуна чи залишатися незмінною.

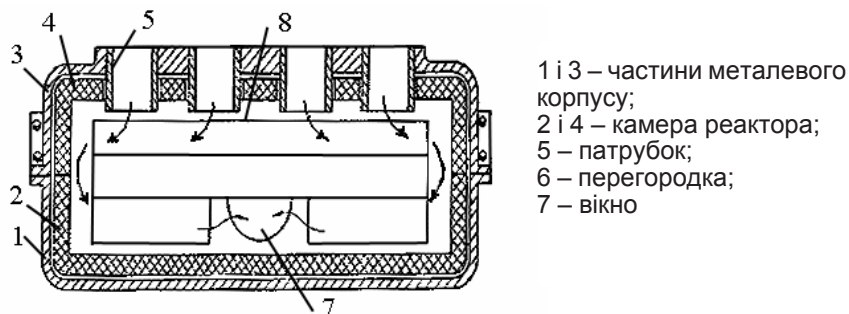


Рис. 6.7. Конструктивна схема термічного реактора

Трубами (які на схемі не показані) у випускні патрубки головки циліндрів подають додаткове повітря.

У внутрішню камеру реактора патрубками 5 надходить суміш ВГ і додаткового повітря. Камеру виготовлено із жаротривкого ма-



теріалу, і складається вона із двох частин – 2 і 4. В середині камери є перегородка 6, яка сприяє кращому перемішуванню повітря з відпрацьованими газами. Камера ізольована прошарком азбесту і вставлена в металічний корпус 1 і 3. Відпрацьовані гази після камери термічного реактора спрямовують у глушник крізь вікно 7.

В дизелях окислення продуктів неповного згоряння, як правило, здійснюється під час перепускання відпрацьованих газів крізь допалювачі, в яких підтримують постійне горіння.

Застосування полум'яних допалювачів, як і усієї термічної нейтралізації, є причиною деякого зменшення потужності та підвищення питомої витрати палива двигунами через зростання протитиску в системі випуску, а також призводить до порушення їх акустичної настройки.

### ***Дієлі і і аєò ðàëçàò î ðè ââï ðàòüî âàî èõ âàçâ***

Рідинні нейтралізатори – найпростіші пристрої, в яких здійснюється фізико-хімічна обробка відпрацьованих газів під час перепускання їх крізь шар води чи хімічного розчину.

Принцип роботи рідинних нейтралізаторів ґрунтується на розчиненні чи хімічному зв'язуванні шкідливих речовин, уловлюванні дрібнодисперсних частинок і фільтрації відпрацьованих газів.

Компоненти ВГ, які розчиняються у воді, – альдегіди, оксиди сірки, вищі оксиди азоту – нейтралізуються, сажа й інші дисперсні частинки уловлюються рідиною, послаблюється інтенсивність запаху ВГ, оксид вуглецю й оксид азоту не знезаражуються.

В рідинних нейтралізаторах ВГ охолоджуються до температури 40–80 °С, що важливо, якщо роботи проводяться у вибухонебезпечних середовищах. Окрім того, за таких температур бенз(α)пірен переходить у твердий стан і вловлюється.

Щоб підвищити ефективність нейтралізації, застосовують розчини хімічних реактивів. Найефективніші водяні розчини сульфату натрію  $Na_2SO_3$ , соди  $Na_2CO_3$  з додаванням гідроксіону  $C_5H_8O_2$  з метою запобігання передчасному окисленню основних хімреагентів. Складні розчини застосовувати непрактично через швидкоплинність процесу очищення, великої витрати розчину під час роботи в режимах максимальних навантажень. У багатьох випадках застосовують технічну воду, забезпечуючи її часту заміну в нейтралізаторі.

На рис. 6.8 показано схему рідинного нейтралізатора.



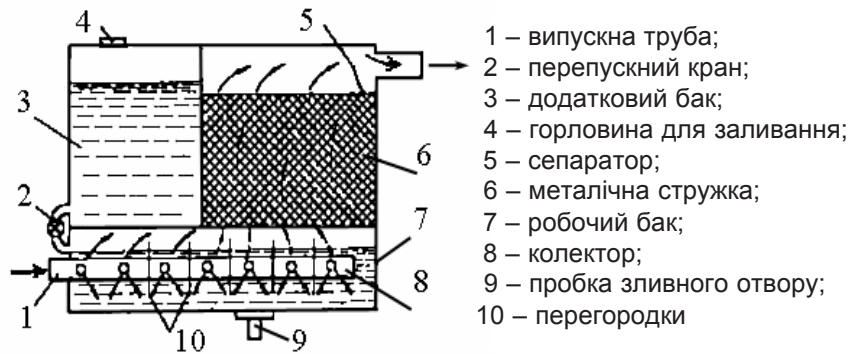


Рис. 6.8. Схема рідинного нейтралізатора НТЖ-2

Відпрацьовані гази з випускної труби 1 надходять у колектор 8 і крізь отвори в ньому виходять у ємність з нейтралізуючою рідиною, в якій відбувається очищення газу від токсичних компонентів. Після того як гази проходять фільтруючий прошарок 6 і сепаратор 5, де затримується волога, яку гази захопили при проходженні нейтралізуючого розчину, вони надходять у атмосферу.

Розчин у робочий бак 7 добавляють з додаткового баку 3.

Недоліком рідинних нейтралізаторів є те, що розчин може замерзати. Крім того, експлуатація рідинного нейтралізатора дорожча через більшу трудомісткість технічного обслуговування, яке потребує щозмінного видалення й утилізації спрацьованої рідини і шламу, промивання системи і заповнювання свіжою рідиною. Рідинні нейтралізатори мають велику масу і габаритні розміри, високу вартість хімічних реактивів.

### Одні з найбільш шкідливих і небезпечних

У процесі експлуатації разом із шкідливими речовинами, які викидаються з відпрацьованими газами двигуна, близько 20 % усіх вуглеводнів надходять в атмосферу як випаровування палива з паливного бака і карбюратора. Це призводить до збільшення токсичності автомобіля в цілому і до втрат палива. Паливо випаровується, переважно, коли двигун не працює. Під час тривалих стоянок основна частина випаровується з паливного бака, короткочасних – з карбюратора. Втрата палива через випаровування для легкового автомобіля, що експлуатується в умовах помірного клімату, становить приблизно 36 г бензину за добу, для вантажного автомобіля чи автобуса – до 100 г. В умовах жаркого клімату втрати бензину в результаті випаровування збільшуються. На величину паливних

втрат з бензобака значно впливають його конструкція і місце розташування, від якого залежить вільна площа поверхні випаровування й інші фактори.

Щоб зменшити втрати палива через випаровування, розроблено системи уловлювання паливних випарів, які запобігають попаданню палива в атмосферу. Найпоширенішими є системи уловлювання пари бензину в адсорберах (поглиначах).

У двигунах із звичайними системами живлення системи уловлювання застосовують досить рідко через складність самих систем живлення.

Частіше уловлювання палива здійснюють у двигунах із системою впорскування палива. На рис. 6.9 наведена принципова схема системи уловлювання паливних випарів.

Основним елементом системи уловлювання паливних випарів є ємність з активованим вугіллям, яка має три штуцери: штуцер "а" сполучено з паливним баком, штуцер "в" – із впускним трубопроводом двигуна, штуцер "с" – з повітряним фільтром, призначений для подавання свіжого повітря. Окрім того, в системі є спеціальний, так званий тактовий клапан.

У будь-якому випадку – і коли двигун працює, і коли не працює – пара бензину трубопроводом, який сполучено із штуцером "а", надходить в ємність з активованим вугіллям. Активоване вугілля адсорбує на своїй поверхні ці випари.

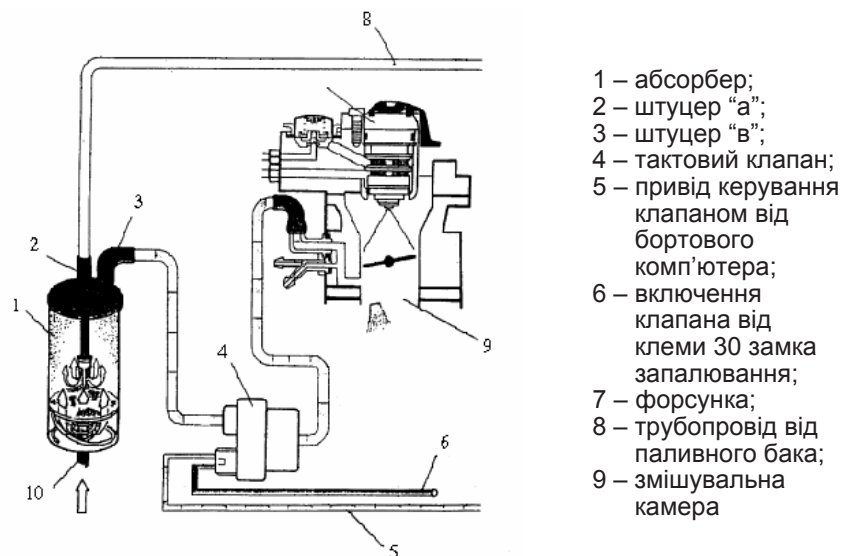


Рис. 6.9. Принципова схема системи уловлювання паливних випарів

Коли двигун працює, активоване вугілля відновлює свіже повітря, що надходить через штуцер “с” у впускний трубопровід двигуна під повітряну заслінку.

Насичене парою бензину повітря штуцером “в” подають у двигун крізь тактовий клапан, який, перебуваючи в стані без напруги, постійно відкритий. При включенні запалювання через клему 30 на тактовий клапан подається напруга, потенціалом маси керує бортовий комп’ютер (авторегулятор), який встановлює режим роботи клапана – протягом 90 секунд він відкритий, протягом наступних 60 секунд – закритий. Впродовж часу, коли клапан відкритий, відбувається регенерація бензину свіжим повітрям і подавання випарів бензину в двигун.

Коли температура рідини в системі охолодження менша 60 °С – тактовий клапан закритий, щоб запобігти надмірному збагаченню суміші на непрогрітому двигуні.

Тривалість відкриття тактового клапана корегують бортовим комп’ютером за сигналом кисневого датчика і датчика положення повітряної заслінки з метою підтримування необхідного складу паливоповітряної суміші.

Щоб уникнути самочинної роботи двигуна, тактовий клапан примусово закритий впродовж 4 секунд після виключення запалювання.

### ***Оєі âëð ààí í ÿ ò ââðäëõ ÷àñò èí í ê, үê³ ì жò ÿò ùñү ó â³ї ðàòüї âàí èõ âàçàõ äèçàë³â***

Тверді частки, що містяться у ВГ, складаються із сажі, сполук сірки і вуглеводневих сполук. Найефективнішим способом очищення від них ВГ є уловлювання спеціальними фільтрами. Забезпечити відповідність сучасним європейським нормам на вміст твердих часток у ВГ дизелів без їх уловлювання практично неможливо.

В наш час для уловлювання твердих частинок розроблено спеціальні системи, основними елементами якої є сажовий фільтр, виготовлений з кераміки, металокераміки чи з перфорованих металевих трубок, вкритих керамічними волокнами та ін.

Габаритні розміри фільтруючих елементів сажових фільтрів вибирають за умовою забезпечення неперервної роботи впродовж 12 годин, що залежить від їх поруватості.

Середня ефективність очищення ВГ від твердих часток може становити від 45 до 60 %. Разом з цим концентрація бенз(α)пірену у ВГ меншає на 80–99 %.

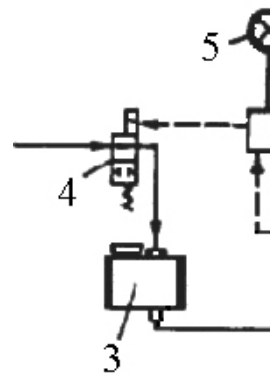
В процесі роботи двигуна пропускна спроможність фільтруючих елементів зменшується, щоб поновити її необхідна періодична ре-

генерація фільтруючих елементів. Здійснити регенерацію можна випалюванням. Для цього необхідна температура вища за 550 °С. Отримати таку температуру за нормальної роботи дизеля досить складно. Щоб досягти бажаного результату за меншої температури, використовують каталізатори (мідь чи залізо), які наносять на поверхню фільтруючого елемента або застосовують спеціальні добавки до палива.

Регенерація ВГ здійснюється з додатковим подаванням повітря або без нього. Можна застосовувати системи із встановленням двох паралельних сажових фільтрів, які функціонують по чергово.

Із застосуванням керамічних фільтруючих елементів виникає потреба в їх розігріванні. Здійснити його можна подаванням додаткового палива у спеціальну камеру перед фільтруючим елементом. Таким паливом може бути і дизельне паливо, і стиснений газ, і будь-яке інше паливо. Розігрівання металокерамічного фільтра, що проводить струм, здійснюють, як правило, електричним струмом від бортової електричної системи живлення автомобіля.

На рис. 6.10 показано принципову схему системи уловлювання твердих частинок з автоматизованою системою регенерації сажових фільтрів періодичним нагріванням до високої температури.



**Рис. 6.10.** *Схема системи уловлювання твердих частинок у ВГ дизелів:*

1 – двигун; 2 – сажовий фільтр; 3 – пристрій для регенерації; 4 – балон із стиснутим газом; 5 – контрольна лампочка; 6 – електронний блок керування

Для дотримання норм щодо викидів шкідливих речовин з ВГ (“Євро-4” та “Євро-5”) визначились два основних напрями вирішення екологічних проблем.

Перший напрям передбачає електронне керування подачею палива залежно від частоти обертання і навантаження, високий тиск впорскування палива (до 200 МПа), тонке розпилювання палива, якісне сумішоутворення, за якого зводяться до мінімуму викиди твердих частинок, застосування нейтралізатора для відновлення оксиду азоту. В таких нейтралізаторах, як каталітично активна речовина, застосовують карбомід  $CO(NH_2)_2$  (сечовину).

Другий метод передбачає також застосування електронних систем керування подачею палива, відносно менший тиск впорскування палива (130–160 МПа), рециркуляцію частини ВГ, ступеневе впорскування палива. У випускній системі відпрацьованих газів передбачають встановлення регенованого сажового фільтра та окисного нейтралізатора.

## **6.2. Зменшення забруднення довкілля використанням перспективних альтернативних палив**

Перспективним напрямом у боротьбі за зменшення токсичності відпрацьованих газів ДВЗ та збереження енергетичних ресурсів є перехід до альтернативних палив, які, в основному, не є продуктами переробки нафти.

Насьогодні для транспортних засобів існує велика кількість заміників нафтових палив. У загальній класифікації альтернативні палива поділяють на такі групи:

- *видобувні і супутні газоподібні палива;*
- *синтезовані і гідролізні альтернативні палива;*
- *палива, отримані з відновлювальних ресурсів;*
- *традиційні нафтові палива з добавками.*

Доцільність та перспективність застосування кожного виду палив оцінюють на підставі проведеного аналізу, в якому зважають на техніко-економічні показники видобування або отримання палива, витрати на транспортування і зберігання, наявність ресурсів, технологічність, екологічні показники і т. ін. Але переважаючими при визначенні доцільності використання різних палив стають зараз саме екологічні показники.

## Алеї деїно ай і ү аеаі аоаі ео ³ ной оо і ³о аааі і і а³аі ео і аеаа

Через дефіцит рідкого палива нафтового походження і зростаючі труднощі з видобуванням нафти, а також з метою зменшення забруднення довкілля шкідливими речовинами в наш час здійснюються інтенсивне переведення ДВЗ різного призначення на живлення газоподібним паливом. Найбільш реальними для широкого вжитку є природний газ (СПГ – стиснений природний газ), а також газ, що є побічним продуктом нафтопереробних підприємств (ЗНГ – зріджений нафтовий газ).

Основний компонент **природного газу** – метан. Він становить 82–99 % об'єму. Основні його властивості як моторного палива: октанове число – 100–110, нижча теплота згоряння – 32–36 МДж/м<sup>3</sup>. Тобто за октановим числом природний газ перевищує кращі бензини і тому його можна використовувати у двигунах з високим ступенем стискування. Природний газ має переваги порівняно з рідким паливом. Оскільки він надходить у циліндри в газоподібному стані, то виключається розрідження оливи, навіть під час холодного пуску двигуна, що збільшує строк його служби і зменшує зношення деталей. Порівняно з бензином, стиснений природний газ утворює більш однорідну суміш, в результаті чого відбувається рівномірний розподіл суміші по циліндрах. Це надає можливість використовувати збіднені паливоповітряні суміші.

Зберігати природний газ можна у двох агрегатних станах – стиснутому і зрідженому. Проте температура зрідження метану становить мінус 161,6 °С. Тому, в разі використання природного газу як моторного палива, його зберігають у стиснутому стані в сталевих балонах під тиском до 20 МПа. Якщо тиск менший, то об'єм газу, в балонах прийнятних розмірів, не забезпечує достатнього запасу ходу автомобіля. Маса одного балона становить 93 кг – отже, встановлення балонів зменшує вантажопідйомність автомобіля.

Необхідність стискування природного газу до високого тиску спричиняє головну проблему, яка стримує широке використання цього виду палива для живлення двигунів. Для заправки балонів за такого тиску необхідно будувати автомобільні газонаповнювальні компресорні станції високої вартості, де газ, який надходить газопроводами, очищують, фільтрують і стискають до 25 МПа.

Як правило, для живлення газовим паливом переобладнують бензинові двигуни. Заміняють штатний карбюратор – карбюратором-змішувачем з додатковим обладнанням газовою апаратурою.

Живлення двигуни в такому разі може здійснюватись як природним газом, так і бензином.

Після переведення на газ енергетичні показники двигуна, порівняно з бензиновим двигуном, зменшуються на 15–20 % (рис. 5.30).

Зменшення енергетичних показників ДВЗ у разі живлення стисненим природним газом, головним чином, пояснюється зменшенням наповнення циліндрів, неоптимальним кутом випередження запалювання, а також тим, що коефіцієнт молекулярної зміни під час згоряння газового палива менший за одиницю. Тобто у розширенні бере участь менша кількість молекул, ніж після згоряння рідкого палива.

Раціонально підвищити енергетичні й економічні показники можна застосуванням двигунів з підвищеним ступенем стискання відповідно до октанового числа природного газу. Але конструктивні зміни, спрямовані на підвищення ступеня стискання, доречно здійснювати лише за наявності достатньої кількості газонаповнювальних станцій, що надасть можливість транспортним засобам житись газом, без переходу на живлення бензином.

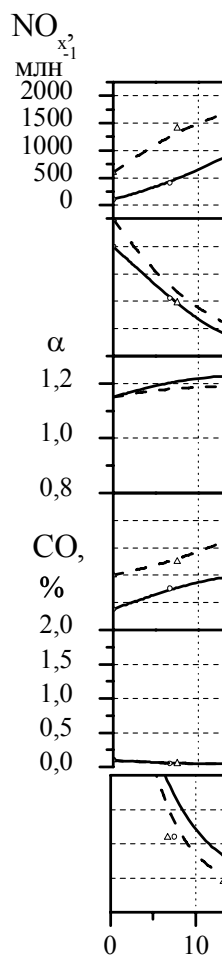
Результати порівняльних досліджень автомобілів, які споживають рідке та газоподібне нафтове паливо, підтверджують суттєве зменшення викидів шкідливих речовин з ВГ двигунів на СПГ. Вуглеводні, які викидаються з відпрацьованими газами двигунів, що споживають газоподібне паливо, в основному, складаються з метану й інших алканів, а бензинове паливо – з олефінів, які значно токсичніші.

На рис. 6.11 наведено навантажувальні характеристики двигуна ЗМЗ-53-11 при  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ . Потужність двигуна при заміні бензину СПГ зменшується на 12,3 %. Склад суміші газових двигунів, в усьому діапазоні навантажень, бідніший за бензинові. На середніх навантаженнях коефіцієнт надміру повітря –  $\alpha = 1,21–1,28$ .

Концентрації вуглеводнів на середніх навантаженнях для обох видів палив майже однакові. При роботі двигуна в режимі малих і максимальних навантажень вміст вуглеводнів більший при живленні бензином, ніж СПГ. При живленні бензином також більші концентрації  $\text{CO}$  і  $\text{NO}_x$  у ВГ.

Переведення дизелів на живлення природним газом, як правило, здійснюють реалізацією газодизельного процесу. У впускну систему разом з повітрям подають газ, запалювання стиснутої газоповітряної суміші здійснюють невеликою запальною дозою дизельного палива. Така система живлення забезпечує його роботу як звичайного дизеля.

Рис. 6.11. Навантажувальні характеристики двигуна ЗМЗ-53-11 при живленні бензином та СПГ





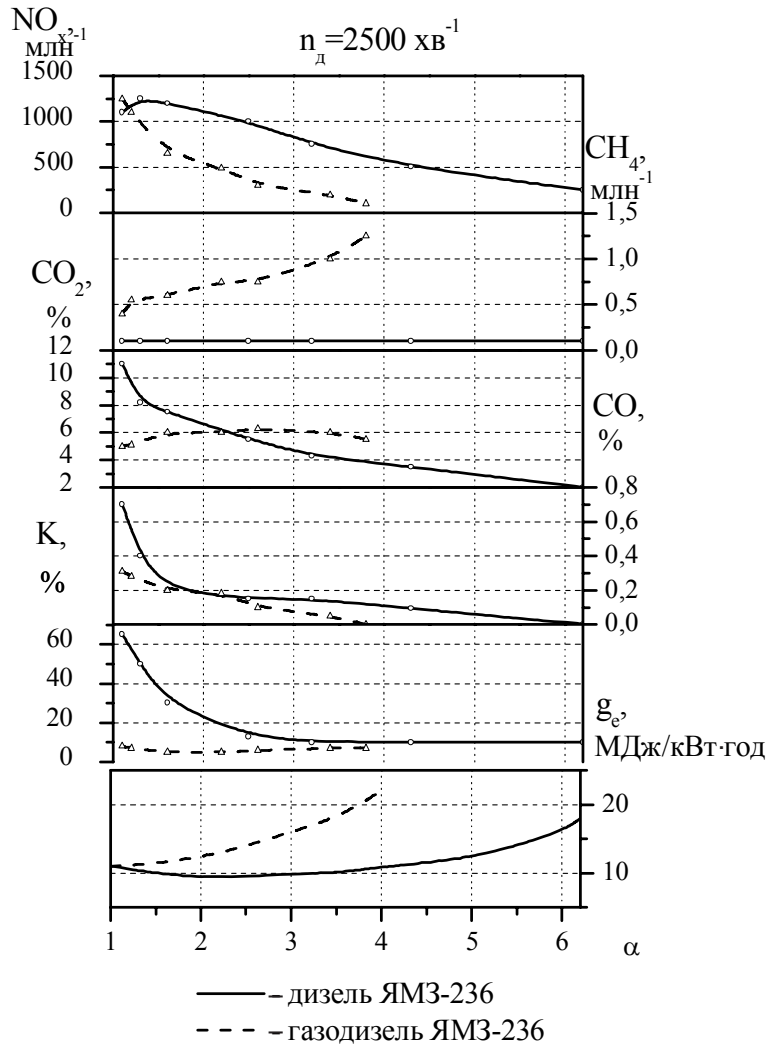


Рис. 6.12. Характеристики дизеля і газодизеля ЯМЗ-236

З огляду витрати рідкого палива газодизель вигідніший за звичайний дизель. Стосовно ж впливу навантажень на склад відпрацьованих газів існують різні, часом суперечні, думки. Вся справа в підходах: екологічність двигуна традиційно оцінюють за трьома нормованими газоподібними шкідливими речовинами (оксиди вуглецю й азоту та вуглеводні) і димністю відпрацьованих газів. Перша з основних переваг газодизеля широко відома – це різке зменшення витрати палива. Друга це – значно менша, порівняно з дизелями на 50–70 %, димність відпрацьованих газів.

Для дизелів, у яких завжди  $\alpha > 1$ , вміст продуктів неповного згоряння палива  $CO$  і  $C_mH_n$  у відпрацьованих газах незначний. На рис. 6.12 показані характеристики дизеля і газодизеля ЯМЗ-236.

В дизелях регулювання потужності здійснюють переважно зміною складу паливоповітряної суміші (збіднення суміші спричиняє зменшення потужності). Тому для дизелів зміну вмісту шкідливих речовин у ВГ можна представляти і залежно від складу паливоповітряної суміші, яку визначає коефіцієнт надміру повітря  $\alpha$ .

Наведені характеристики за складом паливоповітряної суміші, побудовані за навантажувальними характеристиками дизеля і газодизеля, свідчать, що дизель працює в більш широкому діапазоні зміни  $\alpha$ . Зменшення діапазону зміни  $\alpha$  газодизеля пояснюються частковою заміною у свіжому заряді, що надходить у циліндри, повітря газом.

Максимальний вміст  $CO$  спостерігається в режимі повного навантаження. За однакового складу суміші на малих навантаженнях у відпрацьованих газах газодизелів оксиду вуглецю міститься більше, ніж у дизелів, зумовлено це гіршим перебігом процесу згоряння збідненої газоповітряної суміші, а при навантаженнях, близьких до повних, вміст  $CO$  газодизелів стає меншим, ніж у дизелів.

Концентрації вуглеводнів у відпрацьованих газах газодизелів значно більші, ніж у дизелів (у 25–30 разів), але це переважно нетоксичний метан, що не згорів.

Вміст оксидів азоту  $NO_x$  в усьому діапазоні навантажень обох двигунів майже однаковий. Димність ВГ дизеля більша, особливо під час роботи за зовнішньою швидкісною характеристикою. Для газодизелів вона не перевищує 6–8 %, в той час як для дизелів димність може досягати, за такої ж потужності, 55–65 %.

Окрім основних токсичних компонентів, як показано на рис. 6.12, суттєво різняться вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) і альдегідів.

Викиди альдегідів газодизелем у 1,5 разу більші, до того ж до 80 % їх сумарного викиду становлять формальдегіди (яких вдвічі більше, ніж у дизеля). Причини різкого збільшення кількості радикалів  $\text{CH}_3$  полягають у тому, що природний газ, в основному, складається з метану. В зоні часткових навантажень разом із зростанням формальдегіду зростає кількість метану, що не згорів. У той же час сумарні викиди важких альдегідів у дизеля і газодизеля мало відрізняються.

Що стосується ПАВ, більша частина яких має канцерогенну активність, то сумарний викид ПАВ дизелем більше ніж втричі перебільшує їх викид газодизелем. До того ж понад 65 % сумарного викиду ПАВ дизеля становлять перилен і бенз( $\alpha$ )пірен. Для газодизеля викиди вказаних речовин у 5–7,5 разів менші. І хоча механізм утворення ПАВ у циліндрах двигунів поки що досконало не вивчений, а рівень їх викидів досить випадковий, все ж можна говорити про безумовну перевагу газодизеля.

За існуючими даними, газодизельний процес це: по-перше – найрадикальніший спосіб економії рідкого палива (до 80 %), по-друге, за сукупністю шкідливих компонентів відпрацьованих газів, – екологічно безпечніший. Вважається, що основні речовини, що визначають токсичність відпрацьованих газів газодизеля це – оксиди азоту, формальдегід і бенз( $\alpha$ )пірен.

У газодизеля сумарні масові викиди, зведені до  $\text{CO}$ , на 25 % менші, ніж у дизеля. До того ж 90 % сумарних викидів вуглеводнів становить метан, викиди твердих частинок менші вдвічі, а ПАВ – у 3 рази, в тому числі канцерогенного бенз( $\alpha$ )пірену – в 6,5 разу. Вміст альдегідів, навпаки, більший у 1,5 разу, а викиди формальдегіду – вдвічі перебільшують їх вміст у дизелів і становлять приблизно 80 % сумарних викидів альдегідів газодизелем.

Отже, використання природного газу в дизелях і бензинових двигунах зменшує кількість шкідливих викидів у атмосферу.

В багатьох країнах світу налагоджено виробництво обладнання, необхідного для переобладнання автомобілів для живлення двигуна **зрідженим нафтовим газом** (ЗНГ). Нижча теплота згорання ЗНГ становить 24,8 МДж/л.

Високе октанове число ЗНГ (90–100 од.) надає можливість використовувати його для живлення двигунів з іскровим запалюванням з високим ступенем стискання. СПГ переважно використовують для живлення серійних бензинових двигунів без конструктивних змін, для живлення ЗНГ спеціально розробляють двигуни з підвищеним ступенем стискання. Пояснюється це тим, що збері-

гання і заправлення автомобілів ЗНГ здійснити простіше, отже, не треба зберігати здатність двигуна споживати два види палива.

Зрідження газу відбувається за звичайних температурних умов при відносно низькому тиску (1,035 МПа). Тому зберігають і транспортують його як рідину в цистернах або тонкостінних балонах. На борту автомобіля зріджений газ зберігають у балонах під тиском 1,7 МПа. Запас ходу автомобіля, що споживає зріджений газ, приблизно такий, як і такого, що споживає бензин. Заправка ЗНГ здійснюється на стаціонарних і пересувних газонаповнювальних станціях.

Порівняльні дослідження роботи двигуна при живленні бензином і зрідженим газом показують, що переведення на ЗНГ зменшує викиди  $CO$  в 2–4 рази,  $NO_x$  – в 1,4–1,8 рази. Викиди ж  $C_mH_n$ , особливо під час роботи в низьких швидкісних режимах і режимах малих навантажень, зростають у 1,2–1,5 рази.

Застосування ЗНГ в суто дизельному процесі виключено через високу температури самозаймання суміші. При спробах використання ЗНГ в газодизельному процесі ступінь стискування зменшують до 10–12.

Отримано позитивні результати під час дослідження газодизеля з максимальною добавкою пропан-бутану (до 20 %) на режимах максимальної потужності. Головна мета переведення дизелів на газодизельний процес – зменшення димності та викидів оксиду азоту. Відзначають також можливість використання пропану в дизелях для переходу на низькосортні дизельні палива.

В Україні використання газу нафтового походження, як моторного палива, стримується його обмеженими ресурсами. Щоб розширити ресурсну базу, останнім часом проводять дослідження щодо живлення двигунів з іскровим запалюванням і дизелів біологічним газом. Біогаз на 65 % складається з метану, який утворюється під час бродіння каналізаційної маси на станціях стічних вод або відходів тваринництва. Решту, майже 35 %, становить баластний вуглекислий газ.

Зростає зацікавленість у використанні генераторного газу, який отримують у реакторі на борту транспортної машини, газифікацією дистиляційних фракцій нафти, легких фракцій гідрогенізації вугілля і низькооктанових бензинів.

Можна зазначити, що використання різного газоподібного палива для живлення двигунів приведе до зменшення забруднення довкілля основними шкідливими речовинами відпрацьованих газів ДВЗ.

## Аєєї ðèñò àí í ÿ ñèí ò âçí âàí èõ ³ ããðí ë³çí èõ àëüò ãðí òò èâí èõ í àèèâ

### Водень

Перші дослідження стосовно використання водню як палива для теплових двигунів були проведені ще в 20-х роках ХХ століття. Характеристики водню як моторного палива такі: нижча теплота згоряння – 120 МДж/кг, що перевищує теплоту згоряння рідкого палива в 2,7–2,9 разу. Енергія запалювання водню дуже низька і приблизно в 10 разів нижча за вуглеводневе паливо. Швидкість згоряння водневоповітряної суміші висока, особливо збагаченої воднем. Межі запалювання суміші за коефіцієнтом надміру повітря дуже широкі і становлять 0,15–10. За таких широких меж запалювання можливо регулювати потужність двигуна лише зміною складу суміші.

Під час згоряння водневоповітряної суміші утворюється водяна пара, тобто виключається можливість утворення шкідливих продуктів неповного згоряння. Таким чином, водень як паливо для теплових двигунів має низку переваг перед вуглеводневим паливом. Проте є причини, які стримують широке використання водню в теплових двигунах, пов'язані вони з його добуванням, зберіганням і особливостями роботи двигунів.

Отримують водень, в основному, при переробці природного газу і нафти, які безпосередньо можна використовувати для живлення теплових двигунів або отримувати з них моторне паливо. Тому проводяться інтенсивні пошуки інших ефективних методів отримання водню. Найперспективнішим є метод газифікації вугілля під тиском на парокисневому дутті. Вивчається питання використання надлишкової енергії електростанцій у періоди мінімальних завантажень або з альтернативних джерел енергії для отримання водню електролізом води.

Відомі три способи зберігання водню: в балонах високого тиску, в криогенних баках і у зв'язаному стані у складі металогідридів.

Зберігання водню у стиснутому стані здійснюється в балонах високого тиску. Проте навіть за тиску 10–40 МПа маса водню становить лише 0,7–1,3 % маси балонів. Запас водню в 10 кг, необхідний легковому автомобілю середнього класу для пробігу 400–500 км, потребує використання балонів масою 1200 кг. Крім того, зберігання на борту транспортної машини водню за високого тиску неприпустиме з огляду техніки безпеки, тому що може призвести до вибуху під час аварії.

Зберігання водню в криогенних баках також небезпечне. Температура зрідження водню за нормального тиску становить 20К, тому його охолодження потребує значної витрати енергії. Маса і габарити криогенних баків також не задовольняють вимоги щодо їх установлення на автомобілях. За такого способу зберігання водень випаровується, внаслідок чого тиск у середині бака підвищується, і якщо водень не використовується, то, щоб запобігти надмірному підвищенню тиску, його випускають крізь перепускний клапан, тобто втрачають, використовують непродуктивно. Тому криогенні баки повинні мати надійну теплоізоляцію. Як правило, їх виготовляють із подвійними стінками й ізоляцією між ними. Але і це не виключає втрат водню, що становить у кращих системах 1 % за добу.

Найперспективнішим вважається зберігання водню у зв'язаному стані у складі металогідратів. Цей спосіб зберігання ґрунтується на властивості гідридів деяких металів за низьких температур поглинати водень, а за високих – виділяти його. Для зарядження металогідридного акумулятора крізь гідрид пропускають водень і відводять теплоту. Під час роботи двигуна гідрид нагрівається гарячою водою або відпрацьованими газами і водень вивільнюється. Відомо багато гідридів металів і їх сплавів, що мають властивість поглинати і вивільнювати водень. Найбільш легкими, здатними адсорбувати до 8 % водню за масою є магнієві гідриди. Проте водень з цих гідридів виділяється за температури, близької до 300 °С, і тиску 0,15 МПа. Залізотитанові гідриди поглинають водню до 2 % за масою, вивільнення його відбувається за температури 7 °С, але вони мають велику масу.

*Недоліки*, які пов'язані з особливостями роботи двигуна, що живиться чистим воднем. Потужність такого двигуна зменшується на 20–30 % внаслідок малої густини водню в газоподібному стані, що спричиняє зменшення наповнення двигуна. Велика швидкість згоряння водневоповітряної суміші веде до різкого підвищення тиску, жорсткої роботи з детонаційноподібними явищами. Через те, що водневоповітряна суміш легко запалюється, вона в процесі впуску може запалитися від нагрітих деталей камери згоряння і відпрацьованих газів, які залишилися в циліндрі, а це може призвести до зворотних спалахів. Щоб позбутися спалахів, у впускну систему водневого двигуна подають воду. При додаванні 4–5 кг води на 1 кг водню зворотні спалахи зникають.

Застосовують й інші способи запобігання зворотним спалахам: рециркуляцію відпрацьованих газів, подавання водню безпосеред-

ньо до впускного клапана. Повністю запобігти зворотним спалахам можна безпосередньою подачею водню в циліндр.

При згорянні водневоповітряної суміші не відбувається утворення продуктів неповного згорання, властивих згорянню вуглеводневих палив, хоча у відпрацьованих газах у незначній кількості містяться  $CO$  і  $C_mH_n$ , які утворилися в результаті згорання оливи, що потрапила в камеру згорання.

Основна шкідлива речовина, що міститься у відпрацьованих газах водневого двигуна, – оксиди азоту. Найбільше їх утворюється при згорянні дещо збідненої водневоповітряної суміші ( $\alpha = 1,2$ ). Із збагаченням чи збідненням суміші вміст  $NO_x$  різко зменшується. При  $\alpha = 1,8$  вони практично відсутні. Через те, що водневий двигун стало працює при досить збіднених сумішах, зменшити викиди оксидів азоту можна регулюванням складу суміші. Проте енергетичні показники двигуна у цьому разі знизяться. Зменшити викид  $NO_x$  можна також рециркуляцією відпрацьованих газів, подаванням води у впускну систему та зменшенням кута випередження запалювання.

Спеціалісти вважають, що в найближчому майбутньому, через названі недоліки, двигуни, що працюють на водні, широкого застосування не набудуть.

### *Ацетилен*

В останні роки за кордоном вивчається можливість використання ацетилену ( $C_2H_2$ ) як моторного палива. Ацетилен має високі енергетичні показники, і його можна виробляти в нафтової сировини.

Проводились поодинокі експериментальні дослідження роботи поршневих ДВЗ на ацетилені, які, окрім того, виконані переважно на одноциліндрових установках CFR.

Токсичні показники двигуна, який живиться ацетиленом, покращуються переважно завдяки зниженню вмісту у ВГ оксиду вуглецю і сумарних вуглеводнів. Так, в режимах максимальної потужності викиди  $CO$  зменшилися в 2–2,5 рази, а  $C_mH_n$  – в 2,5–3,5 разу, порівняно з мінімальними значеннями викидів цих компонентів у ВГ бензинового двигуна. Разом з тим, внаслідок високої температури згорання ацетилену, вміст оксидів азоту у ВГ перебуває на рівні найбільших викидів  $NO_x$  бензинових двигунів. За однакового складу паливних сумішей ( $\alpha = 1,43$ ) перехід з бензину на ацетилен підвищує вміст  $NO_x$  майже втричі. Проте з подальшим збідненням аце-

тиленоповітряної суміші викиди оксидів азоту швидко зменшуються таким чином, що при  $\alpha = 2,2$  вони практично відсутні.

Основним недоліком ацетилену і ацетиленоповітряної суміші є їх висока вибухонебезпечність. Це єдиний газ, що використовується у промисловості, горіння і вибух якого можливі без присутності окислювача. Щоб користування було безпечним, найпоширенішим став спосіб зберігання та транспортування ацетилену, розчиненого в ацетоні в сталевих балонах, які заповнені активованим деревним вугіллям або іншими поруватими масами під тиском до 2,4 МПа.

### *Азотовмісні палива*

Азотоводневе паливо складається з водню й азоту. Основними видами азотоводневого палива є гідрозин ( $N_2H_2$ ) й аміак ( $NH_3$ ).

**Аміак** ( $NH_3$ ) характеризується простотою виробництва, відносно низькою вартістю і, як паливо, задовільними термодинамічними показниками. Характерними властивостями аміаку є низький стехіометричний коефіцієнт – теоретично необхідна кількість повітря (6,15 кг/кг), висока температура займання аміачноповітряних сумішей (650 °С) та їх повільне, мляве згорання. Його цетанове число близьке до нуля, в той же час він має високу антидетонаційну стійкість (ОЧ визначене дослідницьким методом – 110 од.).

Внаслідок незадовільних моторних якостей аміаку для роботи двигуна необхідно суттєво підвищити енергетичний рівень запалювання використанням високотемпературних свічок із широким іскровим проміжком і потужною котушкою запалювання. Інтенсифікувати займання і згорання аміаку можна впорскуванням запальної дози палива, додаванням активуючих присадок, оптимізацією форми камери згорання тощо.

За термохімічними розрахунками, в продуктах згорання аміаку присутній тільки один токсичний компонент – оксид азоту  $NO$ . Кількість його мінімальна через низькі температури і швидкості згорання аміачноповітряних сумішей. У розрахунках на одиницю транспортної роботи викиди  $NO$  для аміаку нижчі в 1,5–2 рази порівняно з воднем і в 2,5–3 рази – порівняно з бензином. У той же час, в експериментах отримано значно нижчі (майже на порядок) рівні викидів  $NO$  у разі спалювання аміачного палива. Ці обставини пов'язані з перебігом (при певних умовах організації робочого процесу двигуна, що живиться аміаком) реакції взаємодії оксиду азоту з аміаком, який не згорів, у результаті чого відбувається відновлення азоту.



Недоліком аміаку як моторного палива є його корозійна агресивність та отруйність.

Швидкість згоряння **гідрозину** в повітрі вища за швидкість згоряння аміаку і вуглеводнів. За повного згоряння і після видалення оксидів азоту, що мають утворюватися, азотоводневе паливо не буде забруднювати навколишнє середовище.

Гідрозин має не лише властивість згорати, як бензин, але і розкладатися (за відсутності повітря) в регульованому режимі, що розширює можливість його використання.

Температурні межі рідкого стану гідрозину дуже близькі до меж рідкого стану води. Температура замерзання гідрозину дорівнює 17 °С, що виключає обмеження його використання в різних географічних зонах.

Через високу температуру замерзання гідрозину та інші його експлуатаційні властивості до нього доцільно додавати антифриз. Це необхідно для того, щоб використовувати гідрозин як автомобільне паливо. Вибір антифризу обмежується рідинами, які можуть перемішуватися з гідрозином. Ефективними антифризами для гідрозину є вода або аміак. Найбільш ефективна потрійна суміш TF-1, що складається з 64 % гідрозину, 10 % аміаку і 26 % води.

Зараз гідрозин отримують з аміаку, який, у свою чергу, добувають з вуглеводневої сировини.

*Àèêî ðèñò àí í ÿ ï àëèâ, î ò ðèì àí èõ  
ç á³áí î âëþ ààëüí èõ ðáñóðñâ*

### *Спиртові палива*

Перспективним видом палив для живлення теплових двигунів, що отримують з відновлювальних ресурсів, є спирти (метанол та етанол).

**Метанол** ( $CH_3OH$ ) отримують гідрогенізацією (приєднанням водню) кам'яного вугілля при високому тиску в присутності каталізатора. Крім вугілля, як сировину використовують природний газ, вапняк, побутові відходи і відходи лісового господарства.

Метанол як моторне паливо, має такі основні характеристики: октанове число 104–114, нижча теплота згоряння – 22 МДж/кг. Високе октанове число надає можливість використовувати метанол для живлення двигунів з іскровим запалюванням з високим ступенем стискування (до 12–14). У зв'язку з тим, що, порівняно з бензи-

ном, метанол має меншу, практично вдвічі, теплоту згоряння, його масові витрати на одиницю виробленої енергії значно більші. Це зменшує запас ходу транспортного засобу або спричиняє необхідність значно збільшувати об'єм паливних баків. Через те, що до складу метанолу входить кисень, теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг метанолу значно менша, ніж для бензину, і становить 6,52 кг/кг. У результаті енергія, що утворюється під час згоряння 1 кг паливо-повітряної суміші, для метанолу і бензину приблизно однакова. Однією з особливостей метанолу, порівняно з паливом нафтового походження, є висока теплота випаровування – до 1160 кДж/кг, що перевищує теплоту випаровування бензину (318 кДж/кг) у 3,6 разу. Це сприяє зниженню температури суміші і збільшенню маси паливоповітряного заряду, зменшенню тепловідведення в циліндрах двигуна і температури відпрацьованих газів. Потужність двигуна з іскровим запалюванням, що живиться метанолом, на 10–15 % вища, ніж у того, що живиться бензином.

Проте висока теплота випаровування метанолу значно погіршує пускові властивості двигуна і, практично, виключає можливість запуску двигуна навіть при 0 °С. Визначилось декілька напрямів усунення цього недоліку – додавання до метанолу рідин, які легко випаровуються, таких як ізопрен, бутан, диметиловий ефір або зріджений газ, встановлення підігрівачів після карбюратора, застосування пускової дози рідкого палива тощо.

Широке використання в експлуатаційних умовах метанолу замість бензину має такі недоліки: його пара більш шкідлива за пару бензину, гума і деякі синтетичні матеріали нестійкі до метанолу, спостерігається навіть підвищене зношування деяких деталей двигуна. Але при відповідній організації експлуатації й незначних змінах деяких деталей двигуна використання метанолу для живлення двигунів з іскровим запалюванням є цілком реальне.

Про доцільність переведення двигунів на живлення метанолом свідчить зменшення викидів більшості шкідливих речовин з відпрацьованими газами порівняно з бензином. За умови живлення метанолом зменшується вміст  $NO_x$  завдяки нижчій температурі в циліндрах двигуна під час згоряння метанолу. Вміст CO у ВГ двигуна при згоранні збагачених сумішей для обох видів палив приблизно однаковий, а при складі сумішей, що наближається до стехіометричного, для метанолу – значно нижчий, внаслідок більш повного згоряння. З цієї ж причини вміст  $C_mH_n$  на метанолі становить 25–33 % вмісту вуглеводнів на бензині. Вміст альдегідів у ВГ двигуна, у разі жив-

лення метанолом, збільшується приблизно у 2 рази порівняно з бензином. Проте поліциклічних вуглеводнів, які мають канцерогенні властивості, викидається на порядок менше. Разом з тим, не утворюється сажа і відсутні сполуки сірки. Таким чином, загальна токсичність двигуна з іскровим запалюванням при живленні метанолом значно менша, ніж при живленні бензином.

Метанол можна використовувати і в дизелі. В цьому випадку спеціальною системою паливopодачі його подають у циліндр. Запалювання суміші метанолу і повітря забезпечується запальною дозою дизельного палива, що впорскується.

Перспективним паливом для двигунів вважають етанол ( $C_2H_5OH$ ), який отримують, в основному, з рослинної сировини.

В Бразилії його виробляють із цукрової тростини, у США – з кукурудзи, у Швеції – з пшениці. Властивості етанолу як моторного палива близькі до метанолу. Його октанове число – 106 од., нижча теплота згорання – 25 МДж/кг. Теплота випаровування етанолу нижча, ніж метанолу, і становить близько 1000 кДж/кг. Тому пускові якості двигуна, що працює на етанолі, кращі.

Для живлення двигуна з іскровим запалюванням використовують або тільки етанол, або його суміш з бензином. За використання етанолу особливості роботи, енергетичні, економічні й екологічні показники двигунів близькі до показників роботи двигуна, що споживає метанол.

Використання етилового спирту надає можливість зменшити викиди з відпрацьованими газами сполук свинцю, сірки, сажі, а також високомолекулярних вуглеводневих сполук, але разом з цим у ВГ зростають концентрації альдегідів.

Тому в країнах, де як моторні палива широко використовуються спирти, крім традиційно нормованих речовин, які містяться у ВГ двигунів з іскровим запалюванням, таких як оксид вуглецю ( $CO$ ), вуглеводні ( $C_mH_n$ ), оксиди азоту ( $NO_x$ ), нормується і вміст альдегідів.

Основні альдегіди, які містяться у ВГ: ацетальдегід ( $CH_3CHO$ ) – сильний подразник, що має рефлекторну дію, і формальдегід ( $HCHO$ ) – сильний подразник, що має алергенні, мутагенні і канцерогенні властивості.

Альдегіди в циліндрах двигуна утворюються в початковій і в кінцевій стадіях горіння вуглеводневих палив. Тобто відповідно в зоні “холодного полум'я” та в прошарках, що знаходяться поблизу стінок камери згорання. Крім того, ацетальдегід утворюється і поза циліндрами двигуна в результаті реакції деяких видів вуглеводне-

вих сполук з атмосферним киснем і хімічними речовинами, які містяться у ВГ.

В більшості розвинутих країн з великою щільністю автомобільного транспорту концентрація ацетальдегіду в повітрі становить близько 60 % загальної кількості альдегідів, які містяться в атмосфері.

Для оцінки впливу виду палива на вміст формальдегіду й ацетальдегіду у ВГ були проведені дослідження на двигуні 8Ч 9,2/8,0 (ЗМЗ-53-12) при живленні бензином та спиртом. Оцінка токсичності двигуна здійснювалась за регульовальними характеристиками за складом суміші (рис. 6.13).

Наведені характеристики свідчать, що концентрації формальдегіду й ацетальдегіду у ВГ двигуна при живленні бензином практично не змінюються, тобто не залежать від складу горючої суміші. Концентрації ацетальдегіду і формальдегіду у ВГ становлять 68–72 млн<sup>-1</sup>. Проте, з урахуванням реакцій вуглеводневих сполук в атмосферному повітрі, концентрації ацетальдегіду збільшуються практично вдвічі (крива 2) порівняно з концентраціями у ВГ (крива 1), причому зростання відбувається із зменшенням коефіцієнта надміру повітря ( $\alpha$ ).

У разі живлення двигуна етиловим спиртом вміст ацетальдегіду у ВГ дещо вищий, ніж для бензину. Його концентрації знаходяться в межах 75–95 млн<sup>-1</sup> (крива 1), а внаслідок реакцій в атмосферному повітрі вони зростають до 100–115 млн<sup>-1</sup>, тобто на 20–25 % (крива 2).

Вміст формальдегіду у ВГ двигуна при живленні етиловим спиртом менший, ніж при живленні бензином, практично в 8–10 разів. При цьому концентрації формальдегіду не перевищують 8–10 млн<sup>-1</sup>.

Концентрації вуглеводнів  $C_mH_n$  у ВГ двигуна, що споживає спирт, менші, ніж при споживанні бензину, а концентрації оксиду вуглецю – практично однакові.

У разі однакового складу горючої суміші концентрації оксидів азоту  $NO_x$  у ВГ двигуна, що споживає спирт, дещо нижчі, ніж при живленні бензином. При цьому максимум концентрацій  $NO_x$  у ВГ зміщується в бік бідніших сумішей.

За експериментальними даними (рис. 6.13) були розраховані масові викиди шкідливих речовин та сумарні масові викиди, зведені до CO.

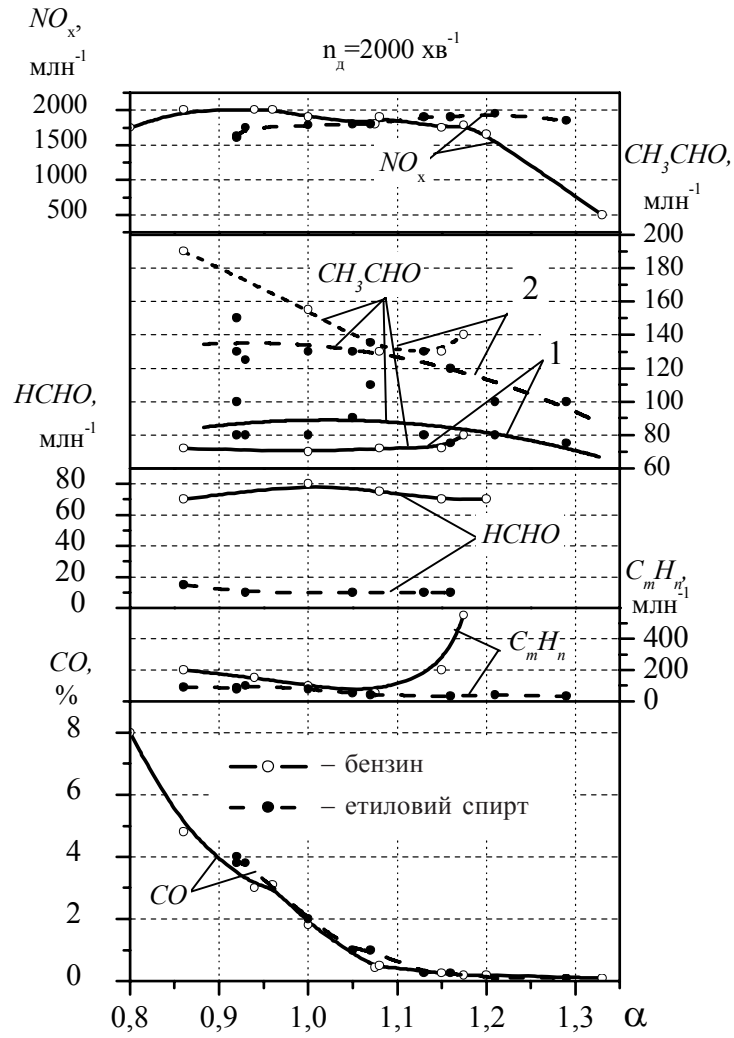


Рис. 6.13. Характеристика за складом суміші двигуна 84 9,2/8,0 (ЗМЗ-53-12) при живленні бензином та етиловим спиртом ( $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ ,  $\Delta p_k = 30 \text{ кПа}$ )

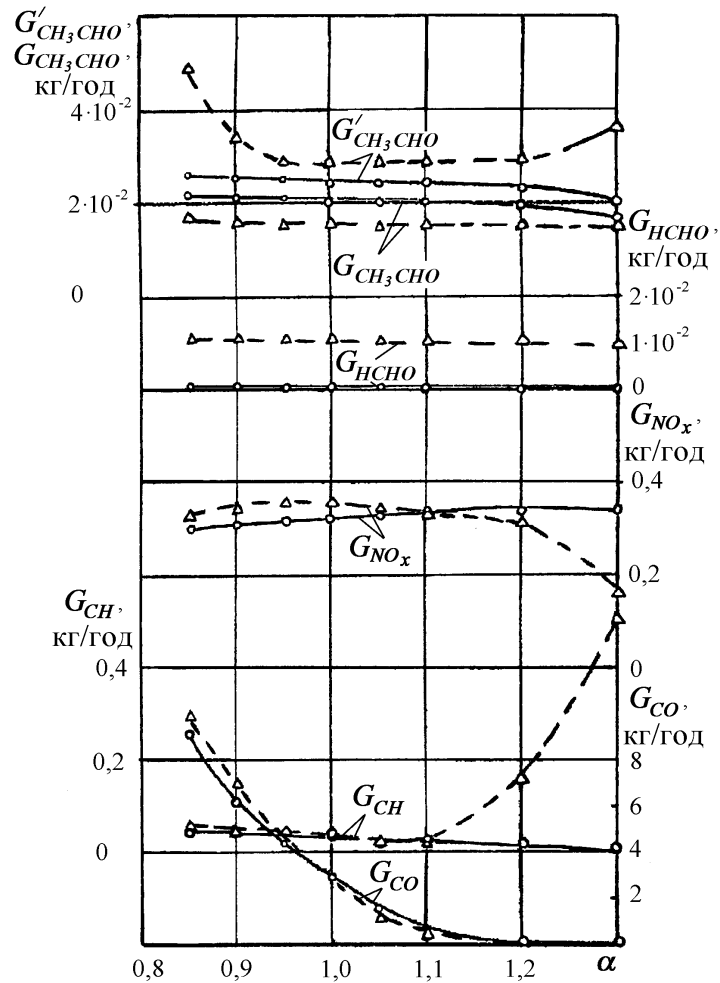


Рис. 6.14. Масові викиди шкідливих речовин  
 двигуна 8Ч 9,2/8,0 (ЗМЗ-53-12)  
 $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ ,  $\Delta p_k = 30 \text{ кПа}$ :  
 ▲ — бензин      — етиловий спирт

На рис. 6.14 показані залежності годинних масових викидів  $G_i$  ШР з ВГ двигуна. Межі зміни мас  $G_i$  ШР, що містяться у ВГ, доволі широкі. Вони змінюються від декількох кг/год (наприклад,  $G_{CO}$  при  $\alpha < 1$ ) до декількох г/год (наприклад,  $G_{HCHO}$  при живленні двигуна

спиртом). З характеристик видно, що масові викиди оксиду вуглецю  $G_{CO}$  при живленні двигуна обома видами палив практично однакові. Масові викиди вуглеводнів  $G_{CH}$  при живленні двигуна бідними горючими бензоповітряними сумішами ( $\alpha > 1,1$ ) значно вищі, ніж при споживанні етилового спирту. Масові викиди оксидів азоту  $G_{NOx}$  у ВГ при живленні двигуна бензином за багатих сумішей ( $\alpha < 1,1$ ) вищі, а за бідних ( $\alpha > 1,1$ ) – нижчі, ніж при використанні етилового спирту.

Маса формальдегіду  $G_{HCHO}$ , що міститься у ВГ двигуна при живленні етиловим спиртом, практично на порядок менша, а маса ацетальдегіду  $G_{CH_3CHO}$ , в середньому на 25 % вища порівняно з двигуном, що споживає бензин.

В сумарних масових викидах, зведених до CO,  $G_{\Sigma(CO)}$  найбільша маса окремого компонента припадає на оксид азоту  $G_{NOx(CO)}$  за будь-яких складів горючої суміші для обох видів палив. Вцілому, сумарні масові викиди, зведені до CO при живленні бензином, в середньому на 20 % більші, ніж при живленні етиловим спиртом (рис. 6.15).

Менш вдалими, поки що, є спроби використання етанолу в дизелях. Це пов'язано, передусім, з високою температурою самозаймання і низьким цетановим числом етанолу. Температура самозаймання етанолу близька до 700 К, тобто на 100 К вища, ніж дизельного палива. Цетанове число етанолу менше восьми одиниць, тобто в 6 разів нижче, ніж дизельного палива. Для використання етанолу в дизелях, як правило, необхідна подвійна паливна апаратура. Етанол впорскують у впускний трубопровід або камеру згоряння. Запалювання здійснюється дизельним паливом. Численні дослідження токсичності дизелів при використанні етанолу показали, що за сумою шкідливих викидів токсичність відпрацьованих газів така ж, як і дизельного палива.

Важливим показником, на який необхідно звертати увагу, замінюючи традиційні види автомобільного палива альтернативними, є токсичність ВГ. При цьому треба контролювати не лише ті викиди, що нормуються, але й інші токсичні сполуки, які формуються в камері згоряння або випускному тракті і можуть нанести шкоду довкіллю або здоров'ю людини. За таких міркувань добавки спиртів до палива можуть призвести до небажаних, з огляду екології, наслідків. Зокрема, добре відомий факт підвищення викидів альдегідів при додаванні метилтретбутилефіру, води і спиртів у бензин. Дослідження американських і японських спеціалістів довели, що добавки в паливо, які знижують токсичність ВГ, у свою чергу, ведуть до утворення нових токсичних речовин.





### Рослинні олії

Останнім часом і в нашій країні, і за кордоном вивчають можливість заміни бензину і дизельного палива альтернативним паливом з відновлювальних джерел – таким паливом можуть бути рослинні олії. Замінником можуть бути соняшникова, кукурудзяна, соєва олії тощо. В нашій країні перевагу віддають ріпаковій олії.

Ріпак – невибаглива культура, його врожайність – 15–25 центнерів насіння з гектара. Шляхом екструзії (пресування) вилучається до 40 % олії від маси посівів. Більш глибока екстракція (вилучення) дозволяє отримати до 70 % олії.

Ріпакову олію можна безпосередньо використовувати як добавку до дизельного палива або продукувати з неї метилефір, який використовують як паливо для дизелів. Метилефір отримують з ріпакової олії трансетерифікацією (хімічним перетворенням).

Для одержання 1000 літрів метилефіру потрібно 1000 літрів олії, 110 літрів метанолу та 16 літрів каталізатора (гідроксиду калію або натрію). В результаті додатково одержують 110 кг гліцерину, та відбувається часткове повернення метанолу.

Основні параметри ріпакової олії та метилефіру наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

#### Приблизний елементарний склад та характеристика палив

Параметри	Ріпаковий метилефір	Ріпакова олія
Елементарний склад, за масою		
С	0,77	0,77
Н	0,121	0,114
О	0,109	0,116
Середня молярна маса, кг/моль	296	883
Густина, кг/м <sup>3</sup>	880	920
В'язкість при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	7,5	72
Теоретично необхідна кількість повітря для повного згоряння палива, кг/кг	12,43	12,28

Ріпакова олія як олива для систем мащення за своїми властивостями не поступається нафтовим. Вона має цілком прийнятну температуру застигання. За антикорозійними та протизношувальними властивостями ріпакова олія перевищує нафтові оливи.

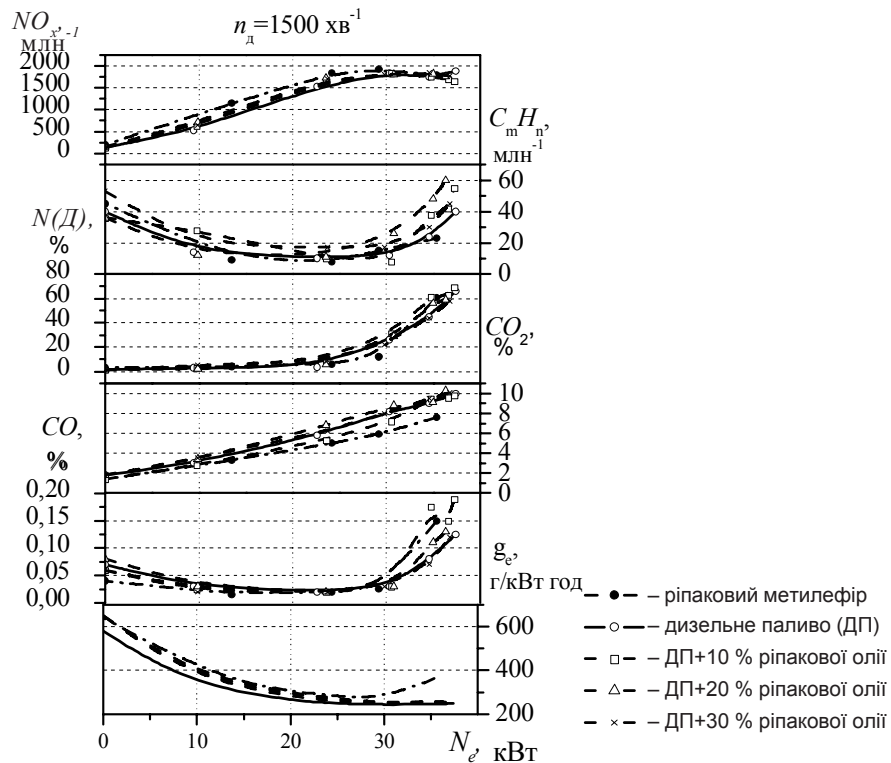
Основні технічні показники штатного дизельного палива і метилового ефіру, одержаного з ріпакової олії, наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

## Показники дизельного палива і метилового ефіру

Властивість	Метилловий ефір	Нафтове паливо
Густина при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	880	810–890
Цетанове число	51	45–50
В'язкість при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	7,5	9,5
Температура застигання, °С	мінус 12	мінус 15
Температура википання, °С	350–371	80 % при 350

На рис. 6.16 показано навантажувальні характеристики дизеля Д-243, що споживає суміш дизельного палива і ріпакової олії з 10, 20 і 30 % об'ємним вмістом, а також ріпаковий метилефір. Для порівняння наведено навантажувальну характеристику дизеля, що живиться штатним дизельним паливом.

Рис. 6.16. Навантажувальні характеристики двигуна Д-243 ( $i = 1500xв^{-1}$ )

Як видно з характеристик, енергетичні показники дизеля, що живиться дизельним паливом і його сумішшю з ріпаковою олією, практично однакові. Потужність двигуна  $N_e$  в цьому режимі становить майже 37 кВт.

Годинна  $G_n$  і питома  $g_e$  витрати палива в зоні середніх і великих навантажень при живленні дизеля сумішшю дизельного палива і ріпакової олії незначно (на 2–5%) більші, ніж при споживанні лише дизельного палива.

Температура відпрацьованих газів дизеля  $t_{br}$  для порівнюваних палив практично однакова в усьому діапазоні навантажувальних режимів.

Живлення дизеля сумішшю ріпакової олії і дизельного палива зумовлює такий же характер змін концентрацій шкідливих компонентів відпрацьованих газів ( $CO$ ,  $C_m H_n$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ ) і димності  $N$  залежно від навантаження, як і для звичайних дизелів. Величини концентрацій продуктів неповного згорання  $CO$  і  $C_m H_n$ , у разі споживання дизелем суміші, дещо відрізняються від аналогічних параметрів живлення лише дизельним паливом, проте ці відхилення перебувають у межах точності вимірювання цих параметрів і мають для дизелів незначні величини. У цьому випадку в зоні великих навантажень дещо зростають концентрації оксидів азоту  $NO_x$ , і має місце тенденція до зростання димності відпрацьованих газів  $K$ . Зростання димності, швидше за все, пов'язане з більшою в'язкістю сумішевого палива і, як результат, погіршенням якості його розпилювання.

Живлення дизеля ріпаковим метилефіром суттєво збільшує годинну  $G_n$  і питому  $g_e$  витрати палива, і концентрації оксидів азоту  $NO_x$  у відпрацьованих газах зростають. Відхилення величин решти порівнюваних показників знаходиться в межах їх можливої точності вимірювання.

Тенденція до збільшення вмісту оксидів азоту  $NO_x$  у відпрацьованих газах дизеля при споживанні суміші ріпакової олії з дизельним паливом та ріпакового метилефіру можна пояснити тим, що в цих випадках має місце більш високе значення коефіцієнта надміру повітря через більший вміст кисню в паливі.

Викиди шкідливих речовин з продуктами згорання метилефіру значно менші, ніж при використанні нафтового палива, особливо щодо сірки, в 70 разів.

Динамічні властивості автомобіля при переведенні дизеля з живлення дизельним паливом на ріпакову олію практично не змінюються. Витрати дизельного палива і ріпакової олії за різних швидкостей руху автомобіля не дуже відрізняються. У разі споживання

дизелем ріпаковою олією викиди оксиду вуглецю на один кілометр шляху, порівнюючи з дизельним паливом, дещо зростають, відповідно 2,48 і 1,67 г/км. Вуглеводнів та оксидів азоту менше. Окрім того, ВГ такого дизеля не містять сірки і важких металів.

### Альтернативні види палива

Через те, що запровадження заміни традиційних видів палив альтернативними переважно потребує внесення змін в конструкцію двигунів, на сьогодні перспективним напрямом зменшення викидів шкідливих речовин вважається додавання до традиційних нафтових палив різних добавок.

**Додавання водню.** Перспективність використання водню як добавки до традиційних вуглеводневих палив полягає у стійкішій роботі бензинових двигунів при дуже збіднених сумішах. Доцільним вважається 20 % добавка водню за масою. При його додаванні до бензину потужність бензинового двигуна можна регулювати лише зміною складу суміші. Доцільно, при дуже малих навантаженнях і в режимі холостого ходу, переходити на дроселювання паливоповітряної суміші, тобто використовувати змішане регулювання.

Результати експериментальних досліджень легкових автомобілів ГАЗ-24 "Волга" при живленні сумішшю водню і бензину та лише бензином наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

### Результати порівняльних випробувань на різних видах палив

Паливо	Вміст СО в режимі, %		Викиди шкідливих речовин, г/випр.		
	$n_{\text{ХХ,мін}}$	$0,6n_{\text{НОМ}}$	СО	$C_mH_n$	$NO_x$
Бензин+водень	0,04	0,01	5	4,6	2,0
Бензин	1,5	0,8	23	9,3	16,5

Додавання водню до бензину зменшує викиди основних шкідливих компонентів у декілька разів.

Додавати водень доцільно і до дизельного палива. Дослідження, проведені на дизелі з вихровою камерою, показали, що 10 % добавка водню зменшує витрату дизельного палива на 30 % і що, звичайно, спричинить зменшення шкідливих викидів.

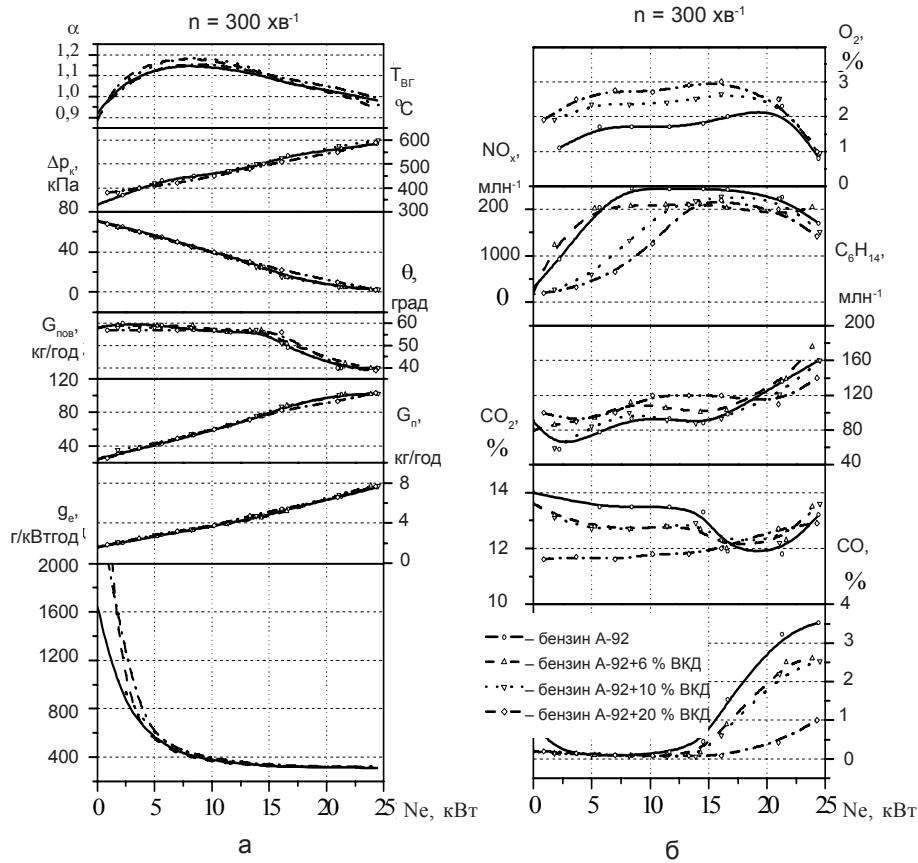
**Додавання спиртів.** Перспективним вважається використання у двигунах бензометанольних та бензоетанольних сумішей – так званих сумішевих палив. Оптимальною вважається 10–15 % добавка метанолу або етанолу до бензину.

Значним недоліком при використанні в експлуатаційних умовах таких сумішей є їх низька стабільність, особливо у випадку попадання в суміш води. Через те, що метанолу й етанолу властива висока розчинність у воді, в цьому випадку, відбувається інтенсивне розшарування й осадження водометанольної фази. Процес розшарування залежить від кількості води, яка потрапила, кількості метанолу чи етанолу в суміші і її температури. Для зниження температури розшарування використовують стабілізуючі присадки – бутанол, ізопропанол, гексанол.

За даними, отриманими вченими Німеччини, етанол більш придатний як домішка до нафтового палива, ніж метанол. Етанол більшою мірою підвищує розчинність води в бензині, зменшуючи здатність суміші до розшарування. В цьому разі не потрібне зневоднювання спирту. Етанол також менш агресивний до металів і матеріалів, які застосовують в автомобілебудуванні. Крім того, використання метанолу пов'язане з небезпекою для здоров'я людей: допустима концентрація його в повітрі робочої зони становить  $5 \text{ мг/м}^3$ , в той час як для етанолу –  $1000 \text{ мг/м}^3$ , а для бензину –  $100 \text{ мг/м}^3$ .

В Україні здійснюють дослідження, спрямовані на визначення доцільності додавання до бензину високооктанової кисневмісної добавки (ВКД), що на 99 % складається з етилового спирту. На рис. 6.17 показані навантажувальні характеристики двигуна MeM3-245 ( $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$ ) при живленні штатним бензином А-92 і сумішевими паливами, що склалися з бензину А-92 і 6 %, 10 % та 20 % вмістом ВКД.

З характеристик видно, що енергетичні показники двигуна MeM3-245 при роботі на сумішевих паливах з різним вмістом ВКД залишаються практично без змін. Відбувається це в результаті зростання годинної витрати сумішевого палива, пов'язаного із зростанням його текучості ( $\xi_{\text{ВКД}} = 830 \text{ 1/Па}\cdot\text{с}$ ,  $\xi_6 = 25,1 \text{ 1/Па}\cdot\text{с}$ ). При цьому при роботі двигуна в режимах повних навантажень концентрації оксиду вуглецю CO у ВГ різко знижується з 3,5 до 1 %, а концентрації вуглеводнів  $C_m H_n$  незначно зростають. В режимах часткових навантажень концентрації вуглеводнів зростають на 10–20 %.



**Рис. 6.17.** Навантажувальні характеристики двигуна MeM3-245:  
 а) енергетичні показники; б) екологічні показники

Концентрації оксидів азоту  $NO_x$  у ВГ при роботі двигуна в режимах повних навантажень і близьких до них практично однакові. На часткових навантаженнях, із збільшенням величини ВКД в сумішевому паливі, ці концентрації суттєво знижуються. Такий характер протікання кривих концентрацій основних шкідливих речовин  $CO$ ,  $C_mH_n$ ,  $NO_x$  у ВГ пояснюють значним збідненням паливоповітряної суміші на часткових навантажувальних режимах. Значення коефіцієнта надміру повітря в режимах часткових навантажень досягає значень  $\alpha = 1,15-1,16$ , що наближається до межі ефективного збіднення суміші і свідчить про практичну неможливість подальшого збільшення вмісту ВКД у штатному бензині. Тобто для двигуна

MeM3-245 без внесення змін у конструкцію та регулювання карбюратора можлива робота на сумішевому паливі з ВКД не більше 20 %.

Паливну економічність двигуна MeM3-245 оцінювали за питомою витратою палива  $g_e$ , г/кВт·год. На часткових і середніх навантаженнях із збільшенням ВКД у сумішевому паливі питома витрата палива  $g_e$  збільшується практично пропорційно зниженню їх нижчих теплот згоряння ( $h_n$ ):  $h_n$  – 44 МДж/кг – для автомобільного бензину А-92;  $h_n$  – 43,8 МДж/кг – для А-92+6 % ВКД;  $h_n$  – 42,2 МДж/кг – для А-92+10 % ВКД;  $h_n$  – 40,4 МДж/кг – для А-92+20 % ВКД.

У режимах повних навантажень питома витрата палива  $g_e$  зростає менш інтенсивно, ніж зменшується теплота згоряння. Відбувається це через збільшення ефективності згоряння сумішевих палив. Коефіцієнт надміру повітря в цьому випадку збільшується із  $\alpha = 0,9$  для штатного бензину до  $\alpha = 1,0$  для сумішевого палива з 20 % вмістом ВКД.

З характеристик видно, що заміна бензину сумішевим паливом практично не вплинула на годинну  $G_n$  та питому  $g_e$  витрати палива, тому що при живленні сумішевим паливом двигун працює більш стабільно, хоча склад паливоповітряної суміші дещо збіднився. Про стабільність роботи свідчить зниження концентрації вуглеводнів  $C_m H_n$  та оксиду вуглецю СО в усьому діапазоні навантажень. Деяке підвищення температури відпрацьованих газів  $t_{вг}$  у разі переходу на живлення сумішевим паливом можна пояснити також збідненням паливоповітряної суміші порівняно з бензином.

Особливо треба відзначити стабільну роботу двигуна на сумішевому паливі в зоні малих навантажень, де при збідненні паливоповітряної суміші (концентрація СО до 1,3 %, яка визначає склад суміші) не спостерігається підвищення концентрації  $C_m H_n$ . У разі живлення двигуна бензином стабільна робота в цій зоні досягається збагаченням суміші (концентрація СО досягає 4,4 %).

Використання бензометанолових сумішей зменшує викиди  $NO_x$  і  $C_m H_n$ , практично не змінюючи викиди СО.

Суміш етанолу і бензину відома під назвою *газохол*. Кількість етанолу в цих сумішах становить 10–20 %.

Дослідження токсичності двигунів з іскровим запалюванням на цих сумішах виявили, що порівняно з бензином викиди СО зменшуються на 26,3 %,  $C_m H_n$  – на 4,5 %,  $NO_x$  – на 5,7 %. Встановлено також, що під час роботи на газохолі трохи більше зношуються деталі, в яких є вміст міді, а зношування деталей, що містять залізо, хром і алюміній таке ж, як і при використанні бензину.

Додавання етанолу (так звані ВКД) сприяє підвищенню октанового числа палива, виступаючи таким чином заміником шкідливого тетраетилсвинцю.

**Äî äääîí î ý âî äè.** Найпоширенішою присадкою до палив нафтового походження, яка впливає на перебіг робочого процесу, енергетичні, економічні й екологічні показники двигунів різного призначення, є вода. Використання води в ДВЗ з метою зниження температурного режиму відоме давно. В останній час проводять чисельні дослідження щодо використання води для покращання економічних та екологічних показників двигунів. Воду подають у циліндри двигуна розпилюванням у потоці повітря у впускному трубопроводі або у вигляді воднопаливних емульсій.

Вплив води на перебіг робочого процесу двигуна подвійний. З одного боку, на випаровування води, яка потрапляє в циліндри, непродуктивно витрачається частина енергії, яка виділяється під час згоряння палива, і це призводить до зниження температурного режиму й уповільнення реакцій. Разом з цим, в деяких дослідженнях помічена можливість протікання реакцій між паливом і водяною парою з утворенням  $CO$  і  $H_2$ , подальшим їх окисленням з виділенням енергії і покращанням робочого процесу в цілому. З іншого боку, при високій температурі крапельки води розриваються, що покращує сумішоутворення і можливе підвищення економічних показників двигунів. Подвійним характером впливу води на робочий процес двигуна можна пояснити і протилежні результати, отримані в різних дослідженнях щодо впливу добавки води на економічність двигуна. Виходячи з результатів, можна стверджувати, що в бензинових двигунах додавання води не змінює енергетичних і економічних показників, якщо параметри двигуна залишаються незмінними. Вода підвищує детонаційну стійкість паливоповітряної суміші, тому можливе підвищення ступеня стискання і відповідно підвищення енергетичних та економічних показників. Якщо ступінь стискання не змінювати, можливе використання бензину з нижчим октановим числом.

У дослідженнях про вплив добавки води в бензинових двигунах на вміст шкідливих речовин у ВГ також отримано дещо суперечні результати. Практично в усіх дослідженнях спостерігається зменшення викидів  $NO_x$  і  $CO$ , що пояснюється зниженням температури в циліндрах двигуна і покращанням сумішоутворення. В більшості випадків має місце збільшення викидів вуглеводнів через зниження температури пристінкового прошарку, де відбувається гасіння полум'я. В інших дослідженнях такого підвищення не встановлено. Вважається, що зміна викидів  $C_m H_n$  залежить від особливостей конструкції камери згоряння.



Разом з позитивним ефектом використання води в бензинових двигунах при впорскуванні її у впускний трубопровід має місце збільшення (в середньому в 1,5 рази) зношування гільз. Це пояснюється дисоціацією води на молекулярний водень і атомарний кисень, який має високу хімічну активність і призводить до корозійного зношування. А те, що на третьові поверхні потрапляють розчинені у воді мінеральні домішки, призводить до абразивного зношування.

Додавання води до дизельного палива безпосередньо впорскуванням у впускний трубопровід або як водопаливну емульсію також сприяє зниженню температури в циліндрах і зменшенню вмісту оксидів азоту. Зміна викидів інших шкідливих речовин неоднозначна.

Під час випробовувань тракторного дизеля з нерозділеною камерою згоряння при живленні дизельним паливом з додаванням води у впускний трубопровід встановлено, що додавання води приводить до зменшення викидів  $NO_x$  у 1,6 разу і незначного погіршення паливної економічності. Викиди  $CO$  і сажі при цьому зростають відповідно у 1,4 і 1,3 разу. Разом з цим, у деяких дослідженнях отримано зниження викидів  $CO$  і димності ВГ завдяки подаванню води в циліндри двигуна. Практично в усіх дослідженнях при додаванні води спостерігається підвищення викидів  $C_m H_n$ .

Використання водопаливних емульсій у дизелях з нерозділеною камерою згоряння помітно підвищує вміст у ВГ поліциклічних ароматичних вуглеводнів і основного їх компонента бенз( $\alpha$ )пірену. При 30 % добавці води до дизельного палива вміст бенз( $\alpha$ )пірену зростає в 10 разів. У дизелі з передкамерою добавка води приводить до незначного зменшення концентрації поліциклічних вуглеводнів при незмінній концентрації бенз( $\alpha$ )пірену, а також до підвищення зношування циліндро-поршневої групи, а використання водопаливної емульсії – до скорочення терміну служби деталей паливо-подавальної апаратури.

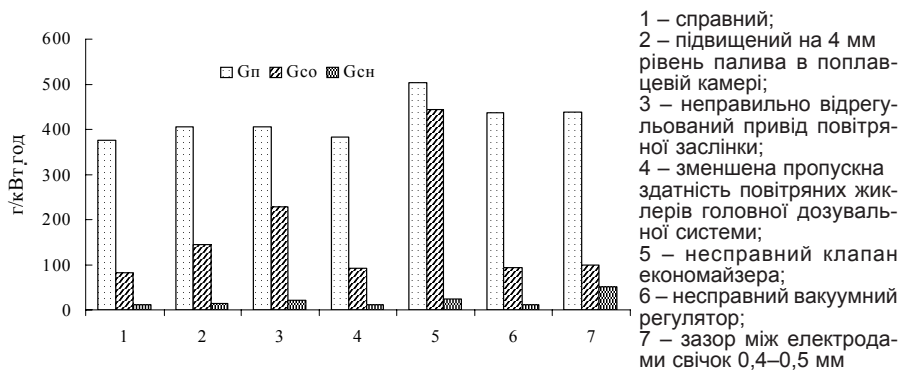
Через наявність позитивного і негативного ефекту питання про доцільність використання води як добавки до палива нафтового походження вимагає подальших комплексних досліджень.

### 6.3. Зменшення забруднення довкілля раціональною експлуатацією автомобілів

Цей напрямок включає багато складових. До основних із них належать: підтримування автомобілів у технічно справному стані за оптимальних регулювань їх систем та агрегатів, оптимальне управління автомобілем в експлуатаційних умовах, оптимізація дорожніх умов руху автомобілів, раціональне використання автомобілів під час виконання транспортної роботи. Розглянемо ефективність впровадження цих заходів.

Кількість шкідливих викидів автомобіля значною мірою залежить від технічного стану та регулювань його агрегатів, механізмів і систем.

У першу чергу, це стосується двигуна автомобіля. На рис. 6.18 показана діаграма впливу несправностей та відхилення регулювань систем живлення і запалювання на економічність та токсичність двигуна ЗІЛ-130. Питомі витрати палива і викиди токсичних речовин, отримані для режимів циклу, прийнятого для випробувань бензинових двигунів вантажних автомобілів та автобусів.



**Рис. 6.18.** Діаграма впливу несправностей на економічність і токсичність двигуна ЗІЛ-130

Як видно з діаграми, підвищення рівня палива в поплавцевій камері тільки на 4 мм, погіршує паливну економічність на 10 % і збільшує викид оксиду вуглецю в 1,75 рази, вуглеводнів – на 15 %.

Збільшення опору у впускному трубопроводі на  $2,66 \cdot 10^{-3}$  МПа в результаті неправильного регулювання приводу повітряної заслінки спричиняє збільшення витрати палива на 9 %, викидів оксиду вуглецю – в 2,75 рази, вуглеводнів – в 1,5 рази.

Зменшення пропускної здатності повітряних жиклерів головної системи на 7 % призводить до погіршення паливної економічності на 2 %, підвищення викидів оксиду вуглецю на 5 % за зменшених викидів вуглеводнів на деяких режимах роботи двигуна.

На паливну економічність та токсичність двигуна особливо впливає несправність клапана економайзера. Заїдання клапана у відкритому стані погіршує економічність на 34 % і збільшує викиди вуглеводнів у 2 рази, оксиду вуглецю – в 5,4 разу.

Несправність вакуумного регулятора внаслідок порушення герметичності підвідної трубки погіршує паливну економічність на 16 % і спричиняє збільшення викиду оксиду вуглецю на 13,7 %. Викид вуглеводнів за такої несправності практично не відрізняється від викиду за нормального регулювання двигуна. Пояснюється це зменшенням концентрації вуглеводнів при пізніх кутах запалювання, але внаслідок збільшення витрат палива масові викиди вуглеводнів не змінюються.

Зменшення зазорів між електродами свічок є причиною погіршення паливної економічності на 15 % і збільшення викидів оксиду вуглецю на 17,5 %, вуглеводнів – у 4,4 разу.

Тому при технічному обслуговуванні й огляді в умовах автопідприємств необхідно приділяти особливу увагу забезпеченню оптимальних регулювань та своєчасному виявленню й усуненню несправностей систем двигуна. Першочергово це стосується тих систем, які потрібно періодично перевіряти і регулювати в режимах, що широко використовуються в експлуатаційних умовах і легко імітуються без спеціального обладнання в умовах підприємств.

У бензиновому двигуні до таких систем належать системи живлення та запалювання. Значний період часу роботи двигунів у режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу обумовлює необхідність дотримання оптимальних регулювань названих систем, перш за все, в цьому режимі.

Основними регулювальними параметрами систем живлення і запалювання у згаданому режимі є склад паливоповітряної суміші, що характеризується коефіцієнтом надміру повітря  $\alpha$ , величина мінімальної частоти обертання холостого ходу  $n_{x.x.мін}$  та кут випередження запалювання  $\theta$ .

Значний вплив регулювальних параметрів на паливну економічність і вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна МеМЗ-245 автомобіля "Таврія" ЗАЗ-1102 видно з характеристик за складом суміші, показаних на рис. 6.19.

Годинна витрата палива  $G_n$ , залежно від вибраної для регулювання частоти обертання 750, 850 або 950  $хв^{-1}$ , змінюється в

межах 0,46–0,52 кг/год. Мінімальна витрата палива має місце при  $\alpha = 0,9–0,92$ , коли регулювання здійснюється за  $n_{x,x.мін} = 750 \text{ хв}^{-1}$  і при  $\alpha = 0,94–0,95$ , коли регулювання здійснюється за  $n_{x,x.мін} = 950 \text{ хв}^{-1}$ .

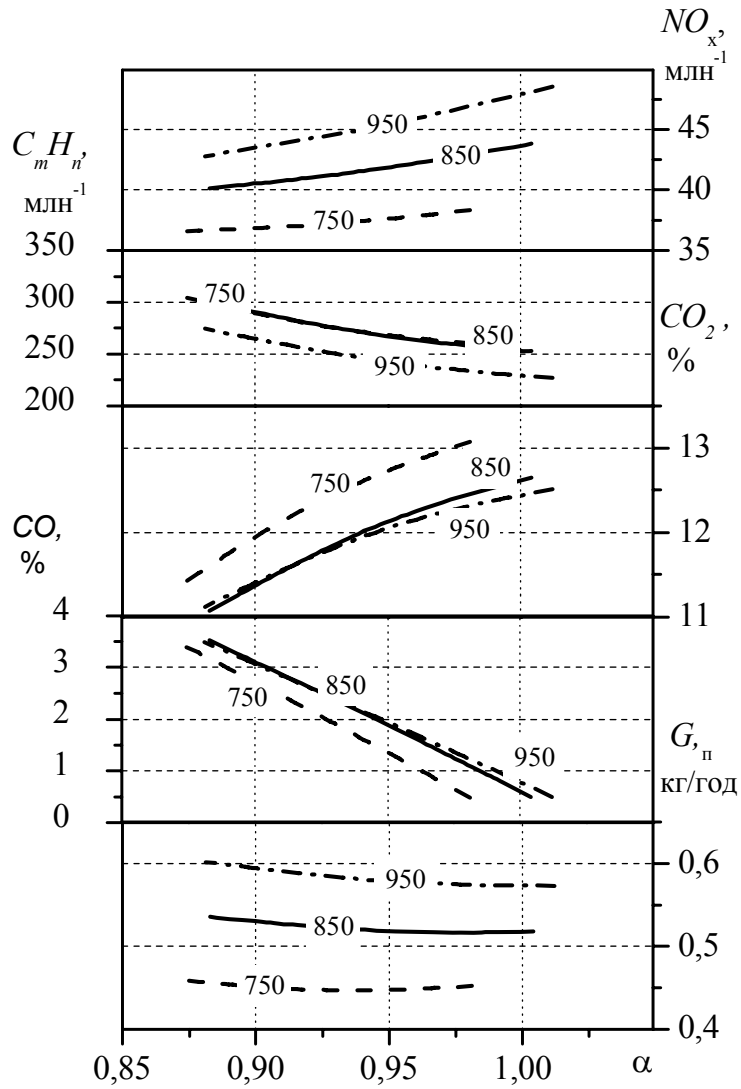


Рис. 6.19. Характеристики за складом суміші двигуна MeM3-245 автомобіля "Таверія" ЗАЗ-1102

За таких складів паливоповітряної суміші мають місце мінімальні концентрації вуглеводнів  $C_m H_n$  у відпрацьованих газах, а концентрації CO близькі до 1,5 %. Таким чином, якщо для регулювання прийняти частоту  $950 \text{ хв}^{-1}$ , то це призведе до перевитрати палива, порівняно з частотою  $750 \text{ хв}^{-1}$ . Хоча робота двигуна, виходячи з концентрації вуглеводнів, буде стабільнішою.

Робота двигуна з більш високою частотою обертання призводить до збільшення концентрації у ВГ оксидів азоту  $NO_x$ . Разом з тим, підвищення частоти обертання дозволяє регулювати двигун на більш збіднену суміш.

Виходячи з наведених характеристик, можна рекомендувати за оптимальні частоту обертання, близьку до  $750 \text{ хв}^{-1}$  або дещо вищу, і склад паливоповітряної суміші з  $\alpha = 0,9-0,92$ , що відповідає вмісту CO близько 1,5 %.

Як було зазначено раніше, однією з умов зниження шкідливих викидів автомобілів є своєчасне виявлення та усунення несправностей у системах і механізмах. В умовах автотранспортних підприємств ця задача вирішується у процесі діагностики технічного стану автомобілів. Оскільки несправності, зокрема систем автомобільного двигуна, суттєво впливають на склад відпрацьованих газів, одним з нових напрямів у діагностуванні технічного стану автомобілів та їх двигунів є використання складових відпрацьованих газів як діагностичних параметрів.

Для визначення справного стану усіх систем двигуна і трансмісії автомобіля необхідно встановити достатню кількість параметрів, що мають контролюватися. Для прикладу розглянемо принцип визначення такої сукупності параметрів для автомобіля з бензиновим двигуном. На рис. 6.20 зображена блок-схема бензинового двигуна і трансмісії автомобіля.

Включення до блок-схеми трансмісії пояснюється тим, що в умовах автотранспортних підприємств перевірка працездатності проводиться на автомобілях, що встановлені на бігових барабанах з навантажувальним пристроєм, у такому разі зусилля на колесах автомобіля визначається разом з енергетичними показниками двигуна величиною втрат енергії у трансмісії.

При розділенні системи на функціональні блоки (ФБ) кожен з блоків повинен мати один вихід. Кількість вхідних параметрів обмежена. Якщо ФБ має кілька виходів, то його розділяють на функціональні елементи (ФЕ), кожен з яких має один вихід. На блок-схемі (див. рис. 6.19) показано зв'язки між окремими ФБ та ФЕ. Вхідні (z) та вихідні (y) параметри наведені в табл. 6.4. Зв'язки між окремими ФБ, вхідними та вихідними параметрами виявлені на

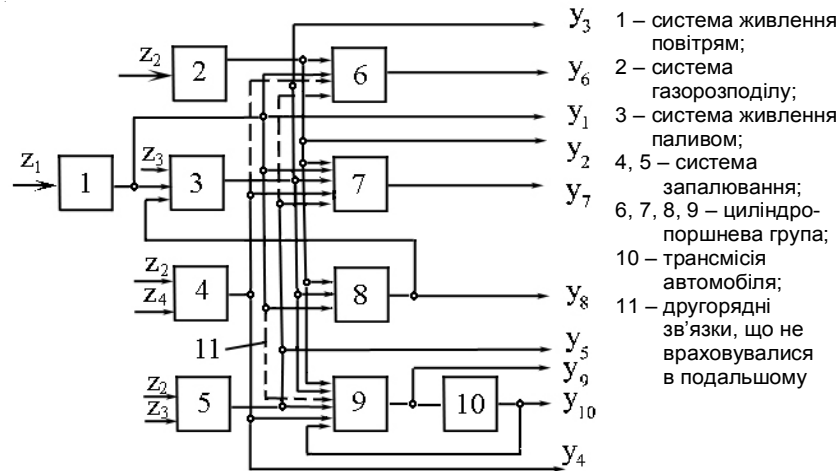


Рис. 6.20. Блок-схема бензинового двигуна і трансмісії автомобіля

основі експериментальних даних, які отримано при випробуванні бензинових двигунів на гальмових стендах та автомобілів на стендах тягових властивостей.

Таблиця 6.4

**Найменування вхідних та вихідних параметрів**

Позначення	Параметри
$Z_1$	Барометричний тиск, $p_0$
$Y_1$	Витрата повітря, $G_{пов}$
$Z_2$	Частота обертання проводу, $n$
$Y_2$	Кути фаз газорозподілу, $\varphi_{\phi}$
$Z_3$	Положення важеля управління дросельною заслінкою, $\alpha_{др}$
$Y_3$	Витрата палива, $G_{п}$
$Z_4$	Електрична напруга (первинна), $U$
$Y_4$	Напруга між електродами свічки, $U_{св}$
$Y_5$	Кут випередження запалювання, $\theta$
$Y_6$	Вміст CO
$Y_7$	Вміст $C_mH_n$
$Y_8$	Розрідження у всмоктувальному трубопроводі, $\Delta p_K$
$Y_9$	Потужність на валу двигуна, $N_D$
$Y_{10}$	Потужність на колесах, $N_K$

Для визначення мінімального числа параметрів, які визначають несправність двигуна, складають та аналізують матрицю станів, яка виявляє зв'язок між численними можливими станами системи  $S$  та можливими значеннями вихідних параметрів  $Y$  (див. табл. 6.5). Кожен рядок матриці  $S_j$  позначає стан системи, що характеризується несправністю  $j$ -го ФБ або ФЕ. Стан  $S_0$  свідчить про відсутність несправностей. Кожен стовпчик  $Y_i$  позначає значення  $i$ -го вихідного параметра за даного стану системи. Якщо значення  $i$ -го вихідного параметра не впливає на несправність  $j$ -го ФБ або ФЕ, то на перетині  $j$ -го рядка та  $i$ -го стовпчика ставиться знак "1". Якщо значення  $i$ -го вихідного параметра залежить від стану  $j$ -го ФБ або ФЕ, то на перетині ставиться знак "0".

Таблиця 6.5

**Матриця станів, що характеризуються вихідними параметрами для бензинового двигуна та трансмісії автомобіля**

$S_i$	$Y_i$									
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$	$Y_{10}$
$S_0$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$S_1$	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
$S_2$	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
$S_3$	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
$S_4$	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0
$S_5$	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0
$S_6$	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
$S_7$	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
$S_8$	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
$S_9$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
$S_{10}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

Визначення мінімального числа параметрів для перевірки працездатності полягає в пошуку мінімальної кількості стовпчиків, які перекривають нулями усі рядки, крім  $S_0$ . Якщо при цьому буде встановлено кілька однакових за кількістю сукупностей вихідних параметрів, то вибирають ту сукупність, яка має найменшу відносну вагомість. Таким чином, за мінімальний діагностичний тест перевірки працездатності були вибрані параметри  $Y_6$  ( $CO$ ),  $Y_7$  ( $C_m H_n$ ) та  $Y_{10}$  ( $N_K$ ).

Після вибору параметрів будують оптимізований алгоритм контролю працездатності з урахуванням функції переваги за кожним

параметром. За визначення працездатності такою функцією є  $W = \max \sum "0"$  в стовпці, що відповідає і-му вихідному параметру. З трьох параметрів, що вибрані за мінімальний діагностичний тест перевірки працездатності, найбільш інформативною буде потужність на ведучих колесах автомобіля. З урахуванням функції переваги побудовано алгоритм перевірки працездатності бензинового двигуна (рис. 6.21).

Згідно із наведеним алгоритмом спочатку визначають значення потужності на ведучих колесах  $Y_{10} (N_K)$ . Якщо воно не відповідає нормі, це свідчить про наявність несправностей або відхилення в регулюваннях двигуна та трансмісії автомобіля. Якщо потужність на колесах знаходиться в пропонованих межах, то визначають вміст СО у відпрацьованих газах ( $Y_6$ ).

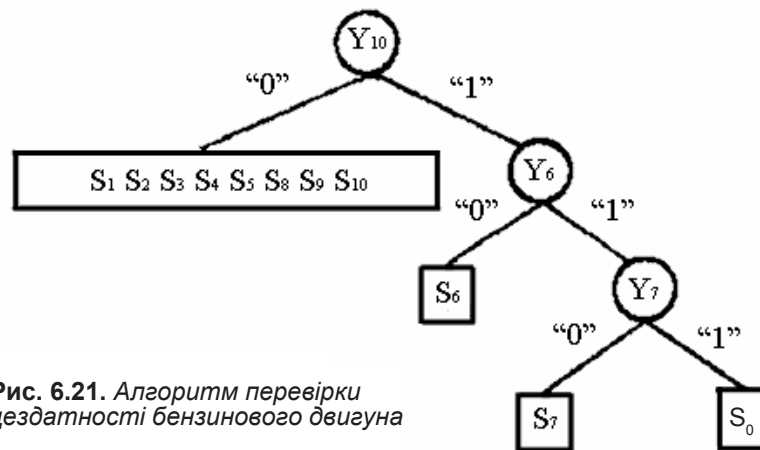


Рис. 6.21. Алгоритм перевірки працездатності бензинового двигуна

Невідповідність його значення нормі свідчить про наявність несправностей у системах двигуна. Якщо значення СО в нормі, перевіряють вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах ( $Y_7$ ). Відповідність його значення нормі свідчить, в цілому, про працездатність двигуна та трансмісії автомобіля. За наявності відхилень шукають несправності розробленими алгоритмами.

Проте слід зазначити, що сучасні автомобілі як з бензиновими двигунами, так і з дизелями облаштовують бортовими системами діагностування із самодіагностуванням можливих несправностей електронною системою регулювання двигуна.

Самодіагностування – це функція електронних систем регулювання спрямована на інформування водія про відхилення у ро-



боті систем живлення та запалювання. Суть полягає в тому, що бортовий мікропроцесор має регістратор несправностей, в якому записано усі несправності, що виникають під час руху автомобіля і впливають на паливну економічність та токсичність двигуна. Електричні сигнали, які формуються у разі виникнення несправностей, розшифровуються за спеціальними тестерами. Разом з тим, передбачено, що виведення й аналіз інформації, записаної в пам'ять регістратора, можливе лише в умовах станцій технічного обслуговування (СТО).

Отже, якщо під час руху автомобіля починає миготіти або постійно світитися контрольна лампочка, встановлена на панелі приладів автомобіля, це означає, що електронна система управління кутом випередження запалювання чи складом горючої суміші перейшла на аварійний режим роботи. В цьому разі необхідно зменшити навантаження на двигун та дістатися до найближчої СТО.

Значний вплив на кількість шкідливих викидів автомобілем має кваліфікація водія і використання ним раціональних прийомів управління.

В експлуатаційних умовах рух автомобіля включає розгони, рух зі сталою та близькою до сталої швидкістю, сповільнення, які можуть здійснюватися з увімкнутою передачею або від'єднанням двигуна від трансмісії, а також із застосуванням гальмів. Для економічної витрати палива та зниження сумарних шкідливих викидів під час руху населеними пунктами при наближенні до світлофора водій має використовувати рух з від'єднаним двигуном (вільне кочення) та уникати інтенсивного гальмування. Але можливість використання вільного кочення суттєво залежить від дорожньої обстановки і в умовах дорожнього руху часто буває неможливим. Тому водій, у першу чергу, повинен вибирати оптимальні режими при розгонах та під час руху з усталеною швидкістю, за яких викидається основна маса шкідливих викидів та витрачається більша кількість палива.

За цих режимів водій керує такими параметрами, як: величина та швидкість переміщення органу керування паливоподачею, передача, що використовується при русі, час перемикання передач та кінцева частота обертання двигуна на кожній передачі за розгону двигуна.

Основними серед перерахованих параметрів є положення важеля керування паливоподачею та частота обертання в моменти перемикання передач.

На рис. 6.22 наведено залежності пробігових витрати палива ( $g_p$ ) та викидів основних шкідливих речовин ( $g_{CO}$ ,  $g_{CmHn}$ ,  $g_{NOx}$ ) та зве-

деної до CO їх суми ( $g_{\Sigma CO}$ , г/км), а також середньої швидкості руху легкового автомобіля ( $V_{сер}$ ) від кута відкриття дросельних заслінок карбюратора ( $\phi_{др}$ ) та частоти обертання в моменти перемикавання передач ( $i_{дкі}$ ).

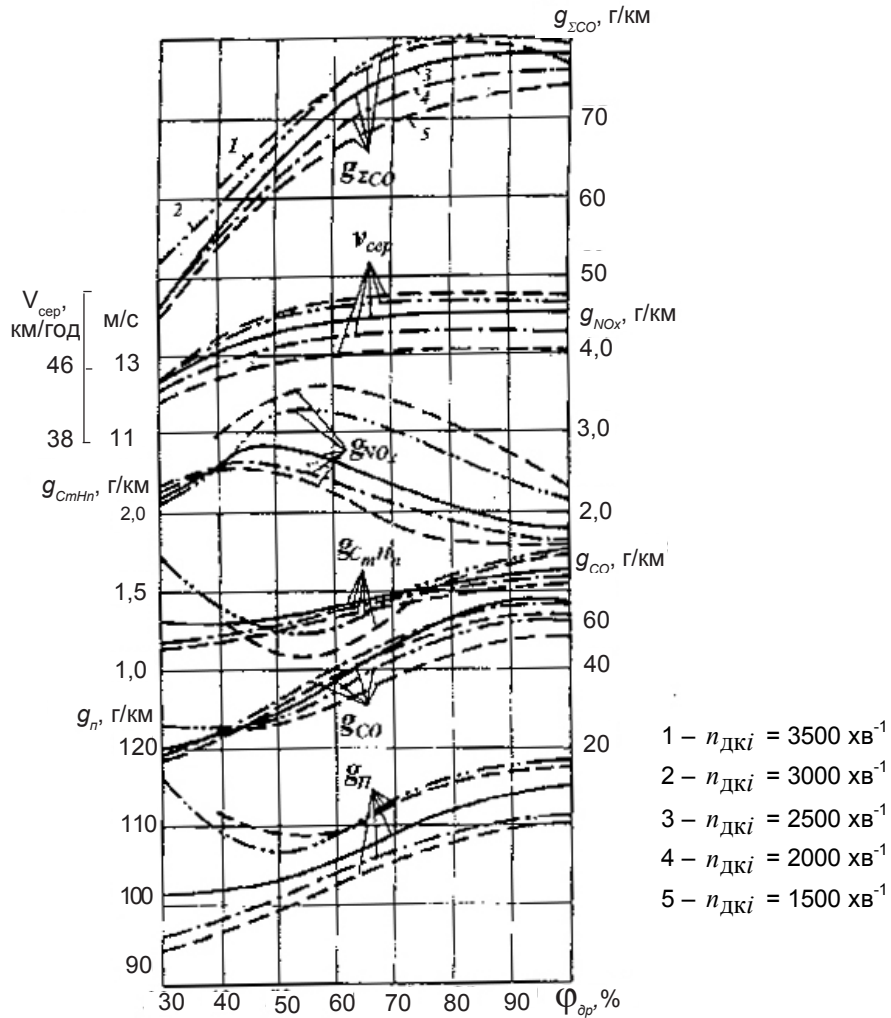


Рис. 6.22. Залежності економічних і токсичних показників у процесі розгону легкового автомобіля від параметрів керування

З рис. 6.22 видно, що зростання  $i_{\partial ki}$  призводить до підвищення витрати палива та викидів шкідливих речовин на одиницю шляху автомобіля, хоча середня швидкість руху також зростає. За вибору рекомендованого в експлуатаційних умовах значення необхідно враховувати також зниження швидкісного режиму роботи двигуна в період перемикання передач. Тому значення  $i_{\partial ki}$  в межах 1500–2000  $\text{хв}^{-1}$  не можна рекомендувати, оскільки в процесі перемикання передач? якщо час перемикання – 1 с, частота обертання двигуна зменшується до 900–1200  $\text{хв}^{-1}$ , що може викликати швидке зношування деталей двигуна через зниження тиску в системі мащення. Зростання  $i_{\partial ki}$  понад 2500  $\text{хв}^{-1}$  спричиняє погіршення економічності та збільшення шкідливих викидів.

На токсичність та економічність автомобіля в процесах розгону суттєво впливає положення дросельних заслінок карбюратора. За вибраної оптимальної частоти обертання  $i_{\partial ki} = 2500 \text{ хв}^{-1}$  (рис. 6.22) зі зменшенням кута відкриття дросельних заслінок витрата палива та викиди шкідливих речовин також зменшуються, але, разом з цим, зменшується середня швидкість руху. З урахуванням зміни економічних, токсичних та динамічних показників оптимальним значенням відкриття дросельних заслінок при розгоні легкового автомобіля є положення дросельних заслінок, близьке до 50 % повного відкриття.

Дослідження розгону вантажних автомобілів з бензиновими двигунами довели, що задля економії палива та зменшення шкідливих викидів з урахуванням продуктивності автомобілів дросельні заслінки карбюратора доцільно відкривати на 60–80 % їх повного відкриття та перемикає передачі за частот обертання 2300–2500  $\text{хв}^{-1}$ . На вантажних автомобілях з дизелями за всережимного регулювання під час розгону доцільно встановлювати важіль керування паливopoдачею в положення, близьке до 80 % його повного ходу, та перемикає передачі за сталої швидкості на ввімкненій передачі.

На нових моделях вантажних автомобілів з дизелями застосовують дворегимні регулятори, за яких водій може встановлювати величину подачі палива під час розгону. В такому разі для зменшення шкідливих викидів та витрати палива з урахуванням продуктивності автомобіля положення важеля керування паливopoдачею необхідно встановлювати до 90 % від повного відкриття та перемикає передачі за частот обертання 0,7–0,9 номінальної.

У процесі руху автомобіля зі сталою швидкістю, величина якої залежить від багатьох факторів, водій вибирає передачу для руху автомобіля з даною швидкістю.

Дослідження довели, що під час руху автомобіля хорошою дорогою необхідно застосовувати найвищу передачу з огляду економічності та низьких токсичних викидів. Рух легкового автомобіля дорогою з великим опором рух на найвищій передачі може призвести до певного збільшення сумарних шкідливих викидів, зокрема, коли вмикається збагачувальний пристрій у системі паливоподачі. Разом з тим, рух на надто низькій передачі завжди призводить до перевитрати палива і зростання шкідливих викидів.

Такі ж рекомендації щодо вибору передачі під час руху із сталою швидкістю стосуються і вантажних автомобілів з бензиновими двигунами і дизелями.

Під час руху населеними пунктами і замиським шосе за відсутності завад з боку інших автомобілів водій визначає режим руху і може підтримувати швидкість, близьку до сталої, або рухатись у режимі розгін-накат. Дослідження показують, що для легкового автомобіля з витриманням оптимального режиму в процесі розгону використання методу водіння розгін-накат приводить до зменшення витрати палива на 5–10 % і викидів оксиду вуглецю на 6–10 %. Проте, разом з цим, збільшуються викиди вуглеводнів до 40 % і особливо оксидів азоту – в 3,6–4 рази. Сумарні викиди, зведені до CO, при використанні такого методу зростають у 1,6–1,8 разу порівняно з рухом в усталеному режимі. Тому навіть для легкових автомобілів за хороших дорожніх умов цей метод недоцільно застосовувати з огляду забруднення довкілля. Під час розгону легкового автомобіля з повністю відкритими дросельними заслінками метод водіння розгін-накат не призводить до підвищення його економічності й спричиняє різке збільшення викидів шкідливих речовин.

У вантажних автомобілів з бензиновими двигунами із застосуванням цього методу погіршуються токсичні й економічні показники. Сумарні шкідливі викиди при цьому зростають у 1,3–1,8 разу, витрата палива збільшується на 4–16 %.

Під час водіння автомобіля з дизелем застосування методу розгін-накат також призводить до перевитрати палива на 16–18 % порівняно з рухом в усталеному режимі.

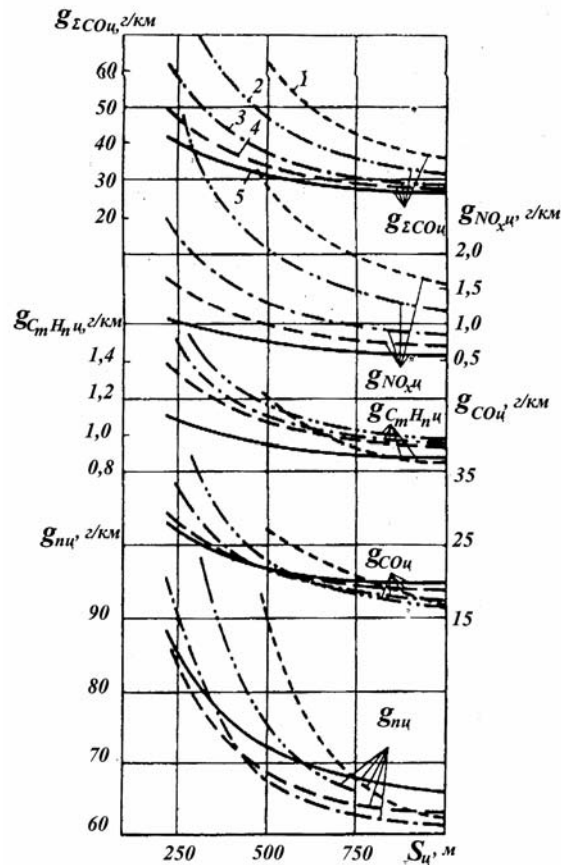
Обов'язковою умовою економічної витрати палива і зменшення шкідливих викидів двигунами є підвищення професійної майстерності водіїв транспортних машин, навчання їх раціональним прийомам управління. Вмінню вибирати оптимальний режим роботи двигуна в експлуатаційних умовах слід навчати в процесі підготовки водіїв. Останнім часом поширення набули бортові прилади, які допомагають водіям вибрати оптимальний режим роботи двигуна. Принцип роботи таких приладів полягає у вимірюванні параметрів

двигуна, що характеризують режим його роботи, і подаванні сигналів водію про необхідність змінювання режиму роботи, якщо він не оптимальний, включенням іншої передачі. В бензинових двигунах вимірюють положення дросельних заслінок карбюратора або розрідження за дросельними заслінками та частоту обертання, в дизелях – положення рейки паливного насоса та частоту обертання. Застосування таких приладів надає можливість знизити витрату палива автомобілем на 10–20 %, що зменшує сумарні шкідливі викиди.

Значний вплив на паливну економічність і кількість шкідливих викидів автомобілів чинять повнота використання вантажопідйомності чи пасажиромісткості. Про це свідчать такі дані досліджень. Витрата палива на одиницю транспортної роботи із збільшенням навантаження від 1 до 5 тон зменшується в 3,6–3,7 разу, викиди  $CO$  – в 3,5–3,8,  $C_m H_n$  – в 4,3–4,4,  $NO_x$  – в 3,1–3,9, сумарні шкідливі викиди, зведені до  $CO$ , – в 3–3,3 разу. Тому однією з основних задач працівників, які займаються плануванням перевезень та вибором рухомого складу, є зменшення холостих пробігів і пересування недозавантажених транспортних машин. Цей ефективний напрям зменшення шкідливих викидів двигунами в експлуатації не потребує додаткових втрат для його впровадження.

Несправності агрегатів автомобіля (неправильне регулювання підшипників, зубчастих зчеплень, тиску в шинах), які виникають у процесі експлуатації або неправильного технічного обслуговування і ремонту, як правило, призводять до збільшення затраченої в процесі руху потужності двигуна і, відповідно, до витрати палива та шкідливих викидів. Можна навести такі дані: кожен відсоток втрати потужності в трансмісії легкового автомобіля призводить до збільшення сумарних шкідливих викидів, зведених до  $CO$ , на 0,85–1,1 % і збільшення витрати палива на 1,1–1,3 % за швидкості руху 36–69 км/год.

Суттєво впливають на рівень забруднення довкілля автотранспортними засобами фактори, які характеризують умови руху. Одним із впливовіших є організація дорожнього руху. Відомо, що рух автомобілів у населених пунктах циклічний. Шлях циклу визначається відстанню між світлофорами, перехрестями, пішохідними переходами. На рис. 6.23 наведені залежності пробігових витрат палива ( $g_{zv}$ ) і викидів окремих шкідливих речовин ( $g_{CO_2}$ ,  $g_{CH_4}$ ,  $g_{NO_x}$ ), а також їх сумарні викиди, зведені до  $CO$  ( $g_{\Sigma CO_2}$ ), від шляху циклу за різних швидкостей в кінці розгону легкового автомобіля. Збільшення шляху циклу приводить до значного зменшення витрати палива та викидів окремих шкідливих речовин, а також їх суми. Особливо



**Рис 6.23.** Залежності пробігових витрати палива та шкідливих викидів легкового автомобіля від шляху циклу: 1 –  $V_p = 60$  км/год; 2 –  $V_p = 50$  км/год; 3 –  $V_p = 40$  км/год; 4 –  $V_p = 30$  км/год; 5 –  $V_p = 20$  км/год.

викидів швидкість руху автомобілів. На рис. 6.24 наведено залежності витрати палива двигуном  $G_{\text{дв}}$  за 1 год, вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$ ,  $\text{NO}_x$ , викидів  $G_{\text{CO}}$ ,  $G_{\text{CmHn}}$ ,  $G_{\text{NOx}}$  та пробігових витрати палива  $g_{\text{дв}}$  і шкідливих викидів  $g_{\text{CO}}$ ,  $g_{\text{CmHn}}$ ,  $g_{\text{NOx}}$  від швидкості руху вантажного автомобіля середньої вантажопідйомності з бензиновим двигуном на дорозі з асфальтовим покриттям.

Найменша витрата палива, питомі викиди  $\text{CO}$  та вуглеводнів на одиницю шляху, відповідно, спостерігається під час руху зі

різке зменшення витрати палива та кількості шкідливих викидів спостерігається на шляху від 250 до 500 метрів.

Дослідження автомобілів, які експлуатуються в Україні, показують, що збільшення шляху циклу в межах 250–500 м на кожні 100 м зменшує витрату палива та шкідливі викиди на 16–20 %. Тому при розробці заходів щодо зменшення забруднення атмосфери населених пунктів і міст автомобілями ефективним є будівництво підземних пішохідних переходів, транспортних розв'язок на двох рівнях, організація руху за принципом "зелена хвиля". Ці заходи збільшують шлях циклу руху автомобілів.

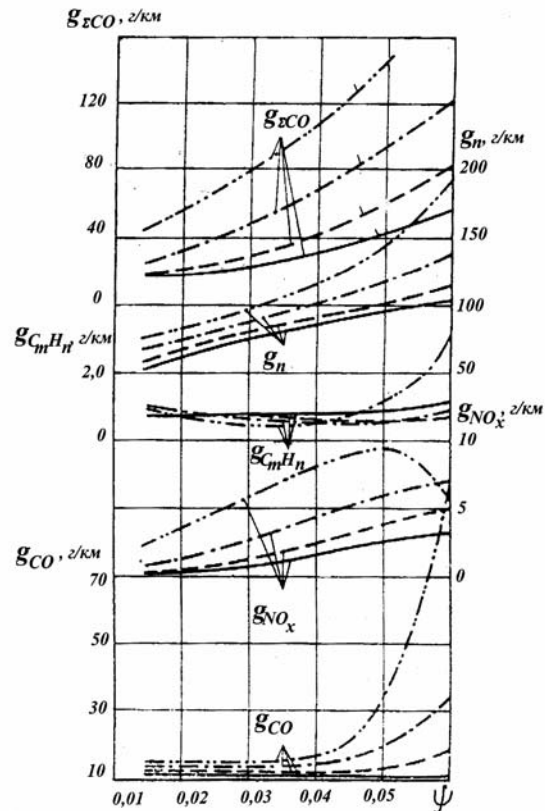
Суттєво впливає на кількість шкідливих



швидкостями 30–40, 40–50 та 45–55 км/год. Викиди із збільшенням швидкості зростають та сягають максимального значення за швидкості 65–70 км/год, коли починає роботу збагачувальний пристрій карбюратора. Найменша сумарна кількість шкідливих викидів, зведених до CO, відповідає швидкості руху 28–35 км/год, що наближається до економічної швидкості руху. Але рух із такою швидкістю суттєво зменшує продуктивність автомобіля. Тому за умов руху в населених пунктах для вантажних автомобілів рекомендують швидкості, близькі до 50 км/год.

Для легкових автомобілів при русі хорошою дорогою мінімум сумарних шкідливих викидів, зведених до CO, відповідає діапазону швидкостей 40–60 км/год, тобто наближається до економічної швидкості руху, і її можна рекомендувати як оптимальну в містах і населених пунктах. Значний вплив на величину шкідливих викидів автомобілем чинить якість дороги, зокрема її покриття.

На рис. 6.25 зображені залежності токсичних та паливно-економічних показників легкового автомобіля з повним навантаженням за різних значень швидкості руху на прямій передачі від коефіцієнта опору коченню дороги. Зростання опору не однаково впливає на



**Рис 6.24.** Залежності економічності та токсичності легкового автомобіля від коефіцієнта опору дороги для різних значень швидкості руху:

- — — — — 36 км/год;
- . . . - 54 км/год;
- - - - - 72 км/год;
- .. - - 90 км/год

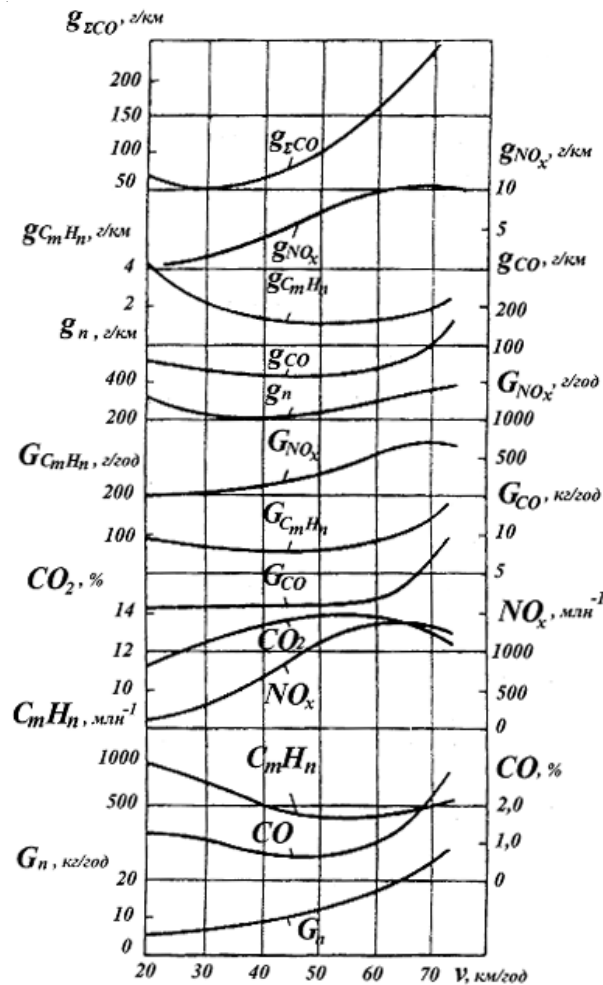


Рис. 6.25. Залежності економічних і токсичних показників від швидкості руху вантажного автомобіля

викиди шкідливих речовин. Викиди  $CO$  –  $g_{CO}$  та  $C_mH_n$  –  $g_{C_mH_n}$  за малих та середніх швидкостей руху (36 та 54 км/год) майже не залежать від коефіцієнта опору дороги при зміні його значення від 0,014 до 0,06. Це пояснюється збідненням паливо-повітряної суміші двигуна із збільшенням навантаження. Рух з високою швидкістю (90 км/год) за значень коефіцієнта опору дороги 0,04 і вище супроводжує різке зростання викидів  $CO$  та  $C_mH_n$  через збагачення паливо-повітряної суміші збагачувальним пристроєм карбюратора. Вплив на викиди оксидів азоту ( $NO_x$ ) інший – із зростанням коефіцієнта опору

за малих та середніх швидкостей руху, зростають викиди  $NO_x$ . Максимальних значень викиди  $NO_x$  набувають при високих швидкостях руху (90 км/год) і  $\Psi = 0,045-0,055$ . Далі зі зростанням  $\Psi$  викиди  $NO_x$  спадають через збагачення суміші в карбюраторі.

Через неоднозначність характеру зміни залежностей окремих компонентів від коефіцієнта опору дороги оцінити вплив цього коефіцієнта на екологічні показники можна лише за сумарними масо-



вими викидами, зведеними до CO. Ці викиди ( $g_{\Sigma CO}$ ) із збільшенням коефіцієнта опору дороги для всього досліджуваного діапазону швидкостей руху зростають. Середнє їх зростання зі збільшенням коефіцієнта опору дороги на 0,01 становить 52–65 %.

#### 6.4. Зменшення шкідливих викидів автомобілів вдосконаленням конструкцій двигунів ДВЗ внутрішнього згорання

*Î ñí î âí º í àí ðÿì è ï î êðàù àí í ÿ ï î èàçí èé³â  
ááí çèí î âèõ äâèãóíîí ³â*

Основні напрями удосконалення бензинових двигунів – це поліпшення паливної економічності та зменшення токсичності ВГ. На сьогодні вирішення цих задач полягає, переважно, у досягненні стійкого згорання збіднених паливоповітряних сумішей в усіх експлуатаційних режимах роботи двигуна та забезпеченні більш гнучкого управління робочим процесом.

##### *Збіднення паливоповітряної суміші бензинових двигунів*

Параметром, який суттєво впливає на концентрацію шкідливих речовин у ВГ ДВЗ з іскровим запалюванням, є відношення повітря/паливо. Для зменшення викидів шкідливих речовин останнього часу розроблено і доведено до серійного виробництва ДВЗ із живленням збідненими сумішами (відношення повітря/паливо приблизно 20:1). Через зменшення здатності паливоповітряної суміші до детонаційного згорання стає можливим збільшення ступеня стискання до 13. Паливна економічність таких двигунів на 20 % краща за традиційні ДВЗ.

Із збагаченням суміші вміст CO та  $C_m H_n$  у ВГ різко зростає, а із збідненням – значно зменшується. Максимальні концентрації  $NO_x$  мають місце, коли суміш стехіометрична або дуже збіднена, у разі подальшого збіднення суміші вона зменшується. Тенденції до збільшення  $C_m H_n$  в зоні бідних сумішей (відношення повітря/паливо і 18:1) пояснюють поступовим зменшенням швидкості згорання та можливими пропусками займання суміші.

Двигуни із бідними сумішами значно менше викидають CO та  $NO_x$ . Проте через існування межі збіднення важко підтримувати сталу роботу двигуна. Це пояснюється неможливістю забезпечення повного і якісного займання *однорідної* бідної суміші, що є недо-

ліком традиційних систем запалювання, в яких запалювання слабе та одноточкове. Для багаточиліндрових двигунів цей недолік підсилюється неоднорідністю складу суміші та її нерівномірним розподілом по чиліндрах.

Забезпечення стабільного згоряння надто збіднених сумішей досягають закручуванням потоку суміші з метою його турбулізації. Здійснити закручування потоку суміші можна у різний спосіб, один з них – встановлення заслінки у впускному трубопроводі. Більш інтенсивна турбулізація можлива у разі застосування спеціальних витискувачів.

Деякі системи впуску мають так званий завихрувач – закріплену на стержні впускного клапана фігурну заслінку, яку переміщують спеціальним механізмом. За малих і середніх навантажень заслінка закрита, і впуск відбувається через спіральну ділянку каналу та забезпечує створення осьового вихору в чиліндрі.

Надійне підпалювання збіднених паливоповітряних сумішей забезпечують установленням в чиліндрі двох свічок запалювання та застосуванням багатоелектродних свічок і свічок з підвищеною енергією та збільшеною тривалістю розряду, свічок запалювання із збільшеним іскровим проміжком.

Перспективні системи запалювання – плазмові. Принцип роботи цих систем такий: у свічці є порожнина для накопичення плазми. В цю порожнину виведені два електроди. Коли проскакує іскра між електродами, газ в цій порожнині іонізується. В електричну схему системи запалювання включено конденсатор. Іонізація газу між електродами спричиняє розрядження конденсатора й утворення високотемпературної плазми, яка з великою швидкістю викидається в камеру згоряння, забезпечуючи стабільне підпалювання збіднених паливоповітряних сумішей.

Проводять роботи щодо створення двигунів із системою так званого “швидкого згоряння”, в які подають гомогенну (однорідну) сильно турбулізовану суміш з інтенсифікованим запалюванням. У таких системах передбачено застосування однієї нерозділеної камери згоряння. Підвищення швидкості згоряння паливоповітряної суміші відбувається внаслідок скорочення шляху, який проходить полум'я. Через це скорочується і час реакції. Застосування таких систем знижує вимоги до октанового числа палива. Стабільне займання забезпечує збільшення енергії системи запалювання, посилену турбулізація заряду та подвійне запалювання.

Система “швидкого згоряння” значно зменшує концентрації  $CO$  і  $C_m H_n$  у ВГ, проте внаслідок підвищених швидкостей згоряння зростає концентрація  $NO_x$ . Зменшення  $NO_x$  до концентрацій, близьких

до норм, здійснюють розбавлянням паливоповітряного заряду відпрацьованими газами (рециркуляцією ВГ).

Ще один спосіб забезпечення роботи двигуна на збіднених сумішах – здійснення *розшарування* паливоповітряної суміші. Розшарувати суміш можна в розділених і нерозділених камерах згоряння. В розділеній камері досягти цього просто. Камера згоряння складається з двох порожнин – основної і додаткової, об'єм, якої становить 3–12% основної камери. В основну камеру надходить збіднена суміш, а в додаткову, де розташована свічка запалювання, – збагачена. Ця суміш легко займається, факел палаючих газів викидається крізь з'єднувальні канали в основну камеру і надійно запалює збіднену суміш.

В нерозділених камерах згоряння розшарування суміші досягають завдяки направленому руху повітря і впорскуванню в нього бензину таким чином, щоб у момент виникнення іскри в зоні свічки перебувала збагачена суміш. Розшарування суміші в нерозділених камерах можна забезпечити й у разі карбюраторного сумішоутворення здійсненням направленої руху паливоповітряної суміші.

Таке ж розшарування суміші відбувається і в газових двигунах внаслідок того, що густина стиснутого природного газу менш, ніж густина повітря. Тому при направленому русі газоповітряної суміші більш багата суміш утворюється саме в центральній частині камери згоряння, де розташована свічка запалювання.

Розшарування суміші забезпечує сталу роботу бензинового двигуна в широкому діапазоні зміни складу суміші. Сталість роботи забезпечується, навіть коли коефіцієнт надміру повітря  $\alpha = 1,4$ , про що свідчить мінімальний вміст вуглеводнів у ВГ. За такого складу суміші має місце мінімальна питома індикаторна витрата палива. Збіднення суміші до 1,6 не впливає на економічність, але дещо підвищує концентрацію вуглеводнів та істотно зменшує концентрацію оксидів азоту. При таких сумішах викиди оксиду вуглецю майже відсутні.

Метод розшарування суміші має певні недоліки: складність забезпечення оптимального складу суміші на різних режимах роботи двигуна, деяке зменшення потужності під час роботи з повними навантаженнями, спричиняє ускладнення конструкції.

#### *Застосування систем впорскування бензину*

Поліпшення показників роботи автомобільних бензинових двигунів з іскровим запалюванням можливе завдяки застосуванню систем живлення із впорскуванням палива. Переваги застосування

таких систем полягають у більш рівномірному розподілі палива по циліндрах, зменшенні опору впускної системи (через відсутність карбюратора), можливості підвищення ступеня стискання та більш широкого впровадження мікропроцесорної техніки для забезпечення оптимального управління роботою двигуна і поліпшення його роботи в усіх експлуатаційних режимах.

Недоліки, властиві цим системам, заважають застосуванню цих систем на вітчизняних автомобілях. Такі системи більш складні і дорожчі за карбюраторні, а їх експлуатація та обслуговування потребують більш кваліфікованих кадрів, окрім того, суворі кліматичні умови можуть спричинити збої в роботі електроніки.

Класифікують системи впорскування за низкою ознак, але основний розподіл за місцем подавання палива: впорскування у впускний трубопровід (центральне і розподілене) та впорскування безпосередньо в циліндри.

У США 98 % автомобілів власного виробництва устатковані двигунами з центральним впорскуванням. У Західній Європі в цьому питанні провідну роль відіграють фірми Німеччини, зокрема фірма Bosch. Їх системами багатоточкового (розподіленого) впорскування оснащено 57 % випущених автомобілів, хоча загальна частина автомобілів Західної Європи, які обладнано системами впорскування рідкого палива, поки незначна – 18–19 %. Застосування багатоточкової системи впорскування для ДВЗ із числом циліндрів шість і більш ефективне за впорскування палива в дросельну камеру. Очевидно, що компактні розміри двигунів V6 полегшують конструкцію короткоструменевих розпилювачів форсунок. Система багатоточкового впорскування дозволяє використовувати можливості регулювання впускного трубопроводу для покращання характеристик ДВЗ. Вцілому, застосування систем впорскування поліпшує процеси сумішоутворення і згорання, сприяє покращанню економічності та зменшенню концентрації у ВГ оксиду вуглецю й інших шкідливих речовин.

Подальшим розвитком систем живлення є здійснення безпосереднього впорскування бензину в циліндри двигуна (наприклад, двигун автомобіля Corona Premio, фірми Toyota, GPJ, Mitsubishi).

Система живлення має мікро-ЕОМ та електронне керування впорскуванням. У режимах малих навантажень бензин впорскують у циліндр двигуна (однотактне впорскування) вихровою електромагнітною форсункою в кінці такту стискання під тиском 13 МПа. Рух палива відбувається по спіралі з високою дисперсією і широким конусом.

У результаті переміщення поршня і спрямованого руху потоку повітря відбувається розшарування суміші таким чином, що поблизу свічки суміш багата, а на віддалі від свічки – бідна. Запалювання суміші здійснює електрична іскра.

Із збільшенням потужності двигуна, тобто із збільшенням подачі палива, розшарування суміші призводить до перезбагачення суміші в зоні свічки й унеможлиблює її запалювання. Щоб уникнути цього, система автоматично переходить до двостадійного впорскування, за якого частину палива впорскують на такті впуску, а решту – в кінці такту стискання.

Застосування безпосереднього впорскування бензину в циліндр двигуна дозволяє підвищити енергетичні показники двигуна, покращити паливну економічність та зменшити викиди шкідливих речовин з ВГ.

Умовою економного використання палива та мінімальних викидів шкідливих речовин у довілля двигунами різних типів та призначення є точне витримання, в усіх можливих режимах роботи, оптимальних параметрів систем двигуна, що визначають його токсичність та економічність. Для бензинових двигунів такими системами, в першу чергу, є системи живлення і запалювання. Тому перші електронні системи, які застосовували у двигунах, були призначені саме для управління складом суміші та кутом випередження запалювання. Управління складом суміші електронними системами легше здійснити, якщо застосована система впорскування бензину. Ці системи порівняно з карбюраторними мають низку переваг: рівномірне розподілення суміші по циліндрах двигуна, більш точне дозування палива, можливість автоматизації процесів пуску та прогрівання, відключення подачі палива в режимі примусового холостого ходу, корекція подачі палива залежно від параметрів оточуючого середовища.

Завдяки цим перевагам є можливість підвищити енергетичні показники двигуна, покращити його паливну економічність та пускові якості, зменшити токсичність відпрацьованих газів за окремими шкідливими компонентами.

Якщо перші системи впорскування бензину з електронним управлінням забезпечували покращання розподілення суміші по циліндрах та більш точне дозування палива, особливо на перехідних режимах, то мікропроцесорні системи управління ще більше зменшують викиди шкідливих речовин та витрату палива. В цих системах закони регулювання задають за одно-, дво- і тримірними матрицями раціональних регулювань. Проміжні значення вхідних змінних величин регулювання визначають інтерполяцією. Такі системи

називають програмними, застосування їх дозволяє реалізувати більш складні закони управління двигуном. За даними провідних фірм, одночасне оптимальне управління кутом випередження запалювання та паливopодачею програмними системи забезпечує поліпшення економічності автомобіля на 11–13 %.

Повільне впровадження електроніки на автомобілях Західної Європи в минулому пов'язане з менш жорсткими вимогами щодо токсичності ВГ, прийнятими на їх території. Останнім часом стан різко змінився, поширення набула перша європейська комплексна система управління типу Motronic фірми Bosch (Німеччина), яка вперше була встановлена на двигуні BMW на початку 80-х років.

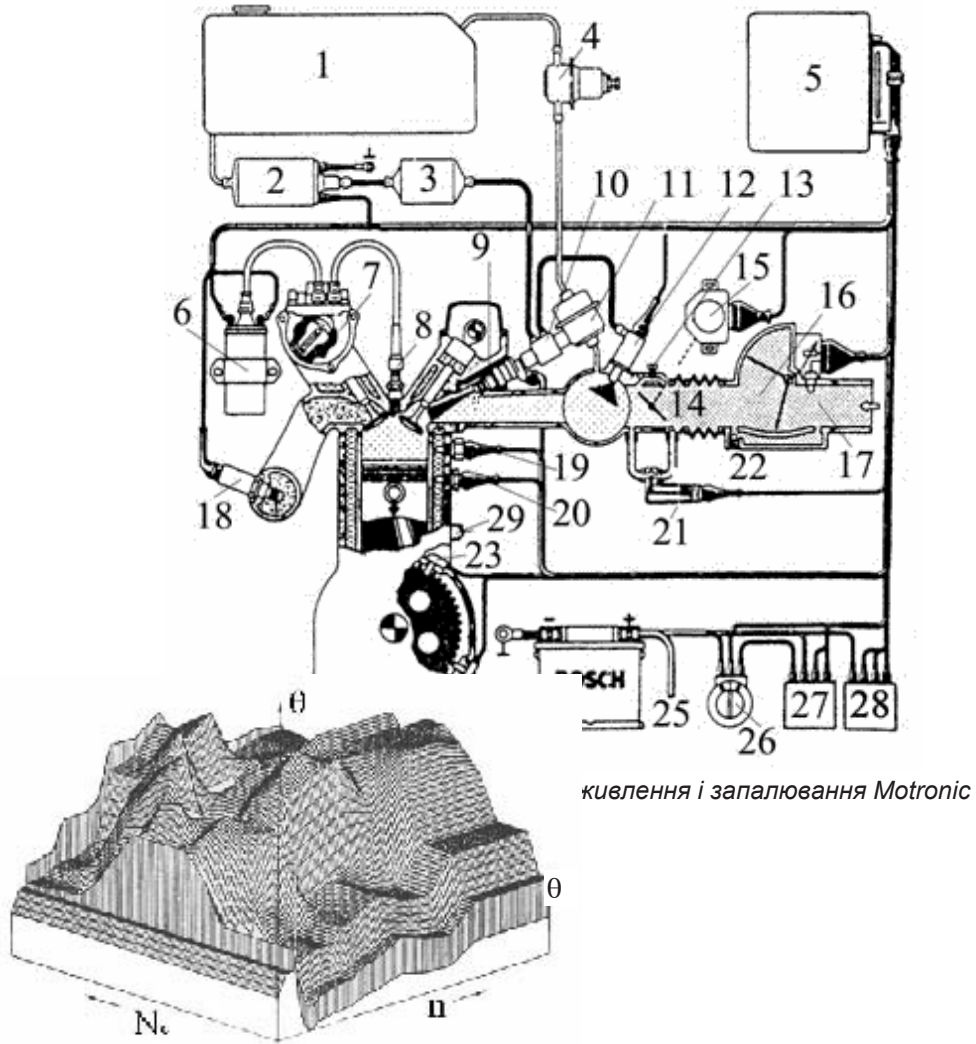
Основні елементи системи живлення і запалювання Motronic: 1 – паливний бак; 2 – електричний паливний насос; 3 – паливний фільтр; 4 – вібrogасильник; 5 – електронний пристрій керування (мікропроцесор); 6 – котушка запалювання; 7 – розподільник високої напруги; 8 – свічка запалювання; 9 – електромагнітна форсунка; 10 – розподільник палива; 11 – регулятор тиску; 12 – клапан холодного пуску; 13 – гвинт регулювання частоти обертання холостого ходу; 14 – дросельна заслінка; 15 – сервопривід та датчик положення дросельної заслінки; 16 – вимірювач витрати палива; 17 – датчик температури повітря; 18 – кисневий датчик ( $\lambda$ -зонд); 19 – теплове реле часу; 20 – датчик температури повітря; 21 – пристрій пуску холодного двигуна з додатковою повітряною заслінкою; 22 – гвинт регулювання складу робочої суміші холостого ходу; 23 – датчик кута повороту колінчастого вала; 24 – датчик частоти обертання; 25 – акумуляторна батарея; 26 – вимикає запалювання; 27 – головне реле; 28 – реле включення насоса.

На рис. 6.26 показано принципову схему системи живлення і запалювання Motronic з електронним керуванням кутом випередження запалювання і складом горючої суміші.

Ця система знайшла широке застосування на багатьох моделях автомобілів усіх країн світу і зазнала значних удосконалень щодо можливостей управління не лише двигуном, а й автомобілем в цілому. Ця електронна система дозволяє значно наблизити кут випередження запалювання до гранично допустимого за умовою виникнення детонації та покращити показники потужності та економічності двигуна.

На рис. 6.27 показана залежність оптимальних кутів випередження запалювання ( $\theta$ ) від частоти обертання колінчастого вала ( $n$ ) та ефективної потужності двигуна ( $N_e$ ).

Оптимальні значення кутів випередження запалювання визначають стендовими випробуваннями для кожної моделі двигуна



**Рис. 6.27.** Характеристика оптимальних значень кутів випередження запалювання

$N_e$

$\Pi$

**Рис. 6.27.** Характеристика оптимальних значень кутів випередження запалювання



індивідуально. Отримані значення заносять в електронну пам'ять підсистеми запалювання як характеристичну поверхню, що описує близько 1000 фіксованих значень оптимального кута випередження запалювання. Проміжні значення визначають методом лінійної інтерполяції.

Високу напругу подають на свічки запалювання механічним розподільником, що приводиться безпосередньо від розподільного вала. Відсутність у механічному розподільнику переривача, відцентрового та вакуумного регуляторів підвищує надійність системи запалювання.

Ядро системи Motronic – електронний пристрій управління з дискретно функціонуючою мікро-ЕОМ.

Перевагою системи є економія палива завдяки дотримувannya оптимального складу паливоповітряної суміші та кута випередження запалювання в усіх експлуатаційних режимах, що, у свою чергу, спричиняє зменшення вмісту токсичних складових у ВГ. Ці переваги забезпечує сумісна робота систем впорскування та запалювання, що отримують інформацію від одних і тих же датчиків.

Щоб застосування систем впорскування палива разом з поліпшенням енергетичних та економічних показників роботи двигуна було ефективним і з огляду зменшення викидів шкідливих речовин необхідно забезпечення оптимального складу суміші, який відповідає режиму роботи двигуна за умови максимальної економічності та сталої роботи, у впускній системі встановлюють датчик складу суміші (так званий зонд), сигнали від якого надходять до мікро-ЕОМ та далі у процесор. Там їх порівнюють із заданою величиною складу суміші для певного швидкісного і навантажувального режиму, які визначаються частотою обертання колінчастого вала та розрідженням у впускному трубопроводі.

За результатами порівняння визначають тривалість відкриття електромагнітної форсунки, а отже, і кількість подаваного палива.

**Äèçàë³çàö³ÿ ò ðàí ñí î ðò ó – ø ëÿõ äí çì áí ø áí í ÿ  
ø ê³äëëäëõ äèëëä³ä**

Найперспективнішим заходом зменшення забруднення атмосферного повітря шкідливими викидами вважають заміну бензинових двигунів дизелями. Застосування дизелів на автомобілях в експлуатаційних умовах забезпечує, в середньому, зменшення витрати нафтового палива на 35–50 % порівняно з бензиновими двигунами. Пояснюється це кількома причинами. Основною є та, що ступінь стискання дизелів значно вищий, і це забезпечує одержання вищих ККД з меншими витратами палива. Крім того, дизель,



за усіх можливих навантажень, живиться збідненими паливоповітряними сумішами. Так, за повного навантаження на кожний кілограм палива в циліндри подається 18–20 кг повітря, а за малих навантажень і в режимі холостого ходу ця величина досягає 100 кг і більше.

Бензинові двигуни на більшості навантажувальних режимів споживають збагачені паливоповітряні суміші. При повному навантаженні в їх циліндри на кожний кілограм палива подають 12–13 кг повітря, в режимі холостого ходу – 11–12 кг і лише за середніх навантажень застосовують дещо збіднену суміш (16–17 кг повітря на 1 кг палива). Така відмінність складу суміші дизелів і бензинових двигунів пояснюється різною природою виникнення в їх циліндрах осередку полум'я. В дизелях паливо впорскують у попередньо стиснуте повітря, що має температуру, достатню для самозаймання палива. За будь-якого складу суміші відбувається надійне запалювання.

В бензинових двигунах, якщо не застосовують спеціальні заходи, суміш у циліндрі практично однорідна, а для надійного її запалювання необхідно мати поблизу свічки збагачену суміш, особливо за малих навантажень і в режимі холостого ходу. Це і зумовлює необхідність збагачення усєї суміші, яку подають у циліндр. Робота бензинових двигунів з нестачею повітря є причиною погіршення економічності і збільшення викидів шкідливих речовин, особливо продуктів неповного згорання.

В табл. 6.6 наведено середні дані щодо викидів шкідливих речовин правильно відрегульованих дизеля і бензинового двигуна при спалюванні 1000 л палива.

Сумарна кількість токсичних речовин, що викидають дизелі, практично у 2,5 рази менша, ніж у бензинового двигуна.

Таблиця 6.6

**Шкідливі викиди поршневих ДВЗ, кг/1000 л**

За економічністю дизелі мають переваги порівняно не тільки з бензиновими двигунами, а й з іншими відомими типами теплових двигунів, які можна застосовувати на

Шкідлива речовина	Тип двигуна	
	Дизель	Бензиновий двигун
Оксид вуглецю, $CO$	25	200
Вуглеводні, $C_mH_n$	8	25
Оксиди азоту, $NO_x$	36	20
Сажа, $C$	3	1
Сірчистий газ, $SO_2$	30	1
Сполуки свинцю	–	0,2
Всього	102	247,2

транспортних засобах. На номінальному режимі дизелі мають найнижчу питому витрату палива. Суттєвою позитивною якістю дизелів є їх менша пожежонебезпечність порівняно з бензиновими двигунами.

Проте, зважаючи на очевидні переваги дизелів за економічністю і токсичністю, не можна стверджувати, що вони на транспорті повністю замінять бензинові двигуни. Основними їх недоліками є великі питомі маси, складність конструкції системи живлення та її обслуговування в експлуатації, підвищена шумність роботи. Широко застосовують дизелі на тракторах, комбайнах та інших самохідних сільськогосподарських машинах.

### *І н і і а і ³ і а і д у і є і і е д а у а і і ү і і е а і є е а а е с а е а*

У наш час дизелі є найекономічніший тепловими машинами, цим і пояснюється їх широке застосування як силових установок вантажних та, дедалі частіше, легкових автомобілів. Значне покращання економічності досягнуто удосконаленням паливоподавальної апаратури, підвищенням тиску впорскування та скороченням його тривалості, підвищенням максимального тиску впорскування до 15 МПа, стилізацією форм камер згоряння, збільшенням відношення ходу поршня до діаметра циліндра, збільшенням тиску наддуву з одночасним підвищенням ККД турбокомпресора, впровадженням електронних систем регулювання циклової подачі та кута випередження впорскування палива, а також використанням нетрадиційних нових матеріалів, зокрема, кераміки.

#### *Удосконалення паливоподавальної апаратури*

Ключова роль розвитку дизелів легкових автомобілів належить паливній апаратурі. Розроблені останнім часом паливні насоси високого тиску (ПНВТ) розподільного типу і рядні плунжерні з підвищеним тиском впорскування палива та електронними системами регулювання циклової подачі та кута випередження впорскування палива сприяють суттєвому підвищенню якості дизелів. Додаткове покращання їх якості досягається застосуванням форсунок, які забезпечують двостадійне впорскування палива. Так, в системі паливоподачі нових дизелів фірми Audi застосовано ПНВТ розподільного типу фірми Bosch моделі VE-VP-34, який створює тиск впорскування 90 МПа, та п'ятисоплова форсунка. Для зниження рівня шуму та токсичності ВГ введено двоступеневе впорскування палива, яке

забезпечують використанням нової конструкції форсунки з двома пружинами. Під час попереднього впорскування працює менш жорстка пружина, тиск початку впорскування становить 18 МПа; під час основного впорскування спрацьовує більш жорстка пружина – тиск сягає 33 МПа. Токсичність ВГ за  $C_m H_n$  зменшується на 15–20 %, за  $NO_x$  – на 10–15 %, хоча збільшується вміст твердих частинок на 5–10 %. В зоні високих частот обертання (понад 2500 хв<sup>-1</sup>) ефективність двоступеневого впорскування погіршується.

Більшість відомих автомобільних фірм віддають перевагу підвищенню тиску впорскування палива. Цей захід сприяє кращому змішуванню палива і повітря, а отже, з меншої кількості палива будуть утворюватися тверді частинки. Разом з тим, зменшується рівень викиду  $NO_x$ . Тиск впорскування у сучасних дизелях досягає 100–160 МПа.

Важливим фактором, що впливає на токсичність ВГ в режимі холостого ходу, є передсопловий об'єм форсунки. За даними фірми Bosch, зменшення порожнини між запорною голкою і сопловими отворами сприяє зменшенню загальних викидів  $C_m H_n$ . Щоб позбутися цього, фірмою запропонована конструкція форсунки, в якій зовсім нема такого об'єму.

#### *Удосконалення систем газорозподілу*

Останнім часом все частіше під час проектування, розробки і виготовлення сучасних ДВЗ, особливо дизелів вантажних автомобілів, замінюють двоклапанні головки циліндрів на чотириклапанні. Завдяки цьому збільшується прохідний переріз, що значно зменшує втрати на газообмін, дещо покращується паливна економічність та зменшується вміст у ВГ  $NO_x$  і твердих частинок.

#### *Удосконалення камер згоряння дизелів*

На економічність і токсичність ВГ дизелів найбільше впливає тип камери згоряння. Для дизелів застосовують розділені та нерозділені камери згоряння.

Перші складаються з двох порожнин – основної і додаткової камер згоряння, які сполучені між собою каналом. Форсунка впорскує паливо в додаткову камеру, в ній відбувається самозапалювання, і продукти згоряння разом з паливом, яке залишилось, з високою швидкістю викидаються через з'єднувальний канал в основну камеру. Найбільшого поширення набули розділені камери згоряння двох типів: передкамера і вихрова камера. Поступово в минуле відходять дизелі з розділеними камерами згоряння, які широко за-

стосовували для легкових автомобілів. Нові моделі дизелів мають нерозділені камери згоряння.

Нерозділена камера – це одна порожнина, яка розташована між днищем поршня і головками циліндрів. Для покращання завихрення повітря і поліпшення якості сумішоутворення у днищі поршня роблять заглибини різної форми: напівсферичні, еліпсні, тороїдальні тощо. Паливо форсункою впорскується в камеру згоряння і самозаймається. Якісного сумішоутворення досягають у разі використання багатодірчастих розпилювачів, впорскуванням палива під високим тиском, інтенсивним завихренням повітря.

Для дизелів вантажних автомобілів розпилювачі, які мають до восьми отворів, розташовують вздовж осі неглибокої камери згоряння досить великого діаметру. Така організація процесу сумішоутворення забезпечує однакові умови для згоряння усієї дози палива, що впорскують. Це сприяє зменшенню викидів твердих частинок і продуктів неповного згоряння палива.

В дизелях легкових автомобілів для оптимізації процесу сумішоутворення особливу увагу звертають на відповідність форми камери згоряння та впускного каналу. Найкращих результатів за економічністю і токсичністю досягнуто застосуванням тороїдальної камери із завуженою горловиною та заокругленими краями.

Для камери згоряння із завуженою горловиною притаманні такі позитивні для сумішоутворення фактори: досить велика вільна довжина струменя палива, внаслідок віддаленості стінок камери від розпилювача; значна частина поверхні камери розміщена нижче точки зустрічі струменя зі стінками, що позитивно впливає на розподілення палива вздовж стінок (до речі, сусідні струмені не заважають один одному); створення інтенсивної вторинної течії в зоні поширення струменя палива, що сприяє покращанню змішування його з повітрям; покращання та навіть підвищення інтенсивності вихорового руху в камері після проходження поршнем верхньої мертвої точки. Крім того, в камері із завуженою горловиною створюється інтенсивний вторинний рух.

Взаємне узгодження параметрів: система впорскування палива та форма камери згоряння у днищі поршня із завуженою горловиною – це основні задачі, вирішення яких сприяє створенню дизеля з низькою димністю ВГ.

Зменшення витрати палива в дизелях з нерозділеною камерою згоряння може скласти 12–18 %. Цей напрям – один з основних для дизелів невеликої потужності. Основним недоліком безпосереднього впорскування є підвищений шум, який усувають застосуванням звукоізоляційних покриттів.

### *Удосконалення систем наддуву*

Ще одним із шляхів зменшення токсичності ВГ дизелів є застосування в дизелях наддуву з проміжним охолодженням повітря. Викиди шкідливих речовин такими двигунами в середньому на 30 % нижчі, ніж у бензинових, обладнаних трикомпонентними каталізаторами. Оптимізація процесу згоряння в дизелях з турбонаддувом та проміжним охолодженням дозволить без додаткових пристроїв очистки ВГ значно зменшити викиди з ними шкідливих речовин. Зараз турбонаддув широко застосовують на дизелях вантажних автомобілів. З 1978 року системи наддуву почали встановлювати на дизелі легкових автомобілів.

У практику дизелебудування в останні роки починають впроваджувати турбокомпресори із змінною геометрією. Їх перевага – покращання управління наддувом. Разом з електронним блоком управління така система суттєво знижує шкідливі викиди, збільшує наповнення циліндрів, потужність, крутний момент та поліпшує паливну економічність.

Інший напрям удосконалення турбонаддуву – використання кількох турбокомпресорів з можливістю поступової зміни кількості працюючих компресорів залежно від частоти обертання колінчастого вала дизеля.

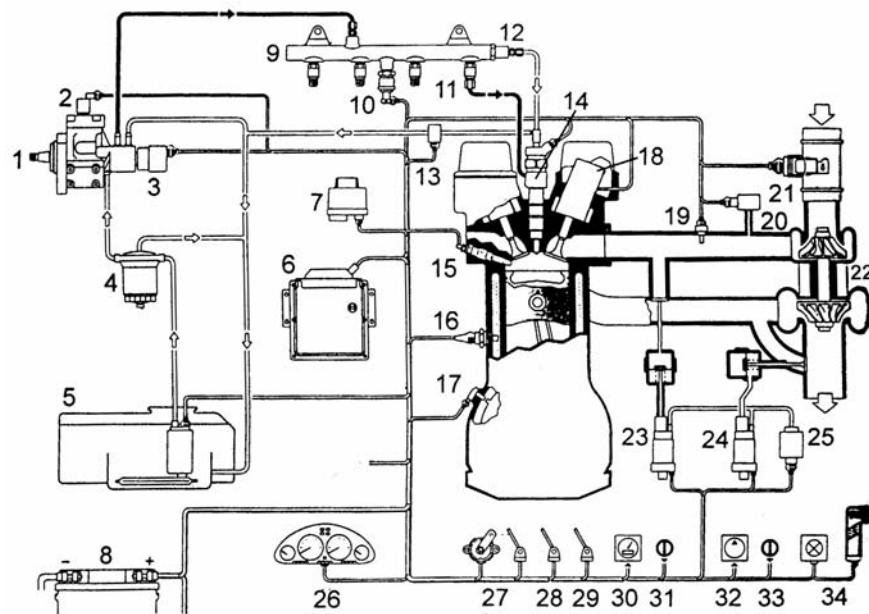
### *Впровадження електронних систем управління дизелем та електронних регуляторів*

Вирішальним фактором, серед тих, що сприяють підвищенню паливної економічності, потужності і зменшенню токсичності та шуму, є застосування для дизелів електронної системи управління впорскуванням палива. Вона дозволяє з великою точністю реалізувати найвигідніші, з огляду потужності, витрати палива і, в той же час, допустимі за токсичністю циклові подачі та кути випередження впорскування залежно від основних режимних параметрів.

Принцип дії системи електронного управління подачею палива, розробленої фірмою Bosch для дизелів, такий: сигнали від датчиків положення педалі управління, частоти обертання, моменту початку подачі палива, температур охолоджуючої рідини, повітря та палива, тиску наддуву та атмосферного тиску поступають в електронний блок управління, де порівнюються із заданою характеристикою двигуна. У разі необхідності подається команда виконавчим органам про зміну подачі палива та початок впорскування палива. Момент початку впорскування регулюється швидкодіючим елект-

ромагнітним клапаном. Точність початку впорскування палива лежить у межах  $\pm 1$  градус повороту колінчастого вала.

На рис. 6.28 показано принципову схему акумуляторної системи живлення і регулювання дизеля з електронним управлінням подачею палива фірми R. Bosch. У цій системі управління кутом випередження впорскування залежно від частоти обертання, навантаження двигуна і кількості палива, що подається, здійснюють зміною фаз та тривалості електричного імпульсу, що подається мікропроцесором на електрогідравлічну форсунку. Фаза управляючого імпульсу встановлюється відповідно до датчика положення колінчастого вала і датчика положення педалі управління. Тиск палива в акумуляторі клапаном обмеження тиску підтримують постійним.



**Рис. 6.28.** Схема акумуляторної системи живлення дизеля з електронним управлінням подаванням палива

Основні елементи, з яких складається акумуляторна система живлення дизеля: 1 – паливний насос високого тиску (ПНВТ); 2 – електромагнітний клапан аварійного вимкнення подачі палива; 3 – додатковий електромагнітний клапан регулятора тиску палива в

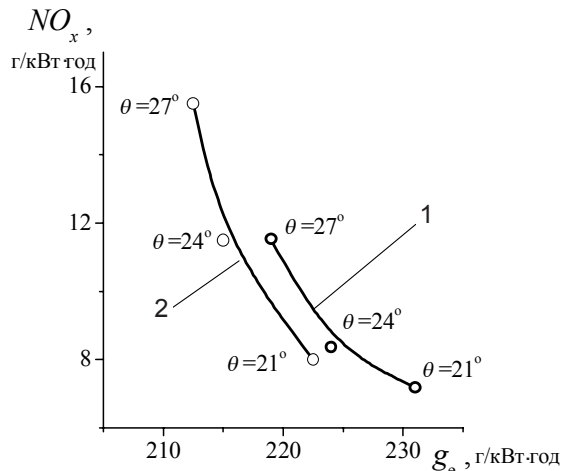
аккумуляторі; 4 – паливний фільтр; 5 – паливний бак з фільтром та паливопідкачувальним електронасосом; 6 – мікропроцесор; 7 – блок управління свічкою розжарювання; 8 – аккумуляторна батарея; 9 – аккумулятор палива; 10 – датчик тиску в аккумуляторі палива; 11 – обмежувач витрати палива електрогідравлічною форсункою; 12 – обмежувач тиску палива в аккумуляторі; 13 – датчик температури палива; 14 – електрогідравлічна форсунка; 15 – свічка розжарювання; 16 – датчик температури охолодної рідини; 17 – датчик положення колінчастого вала (частоти обертання); 18 – електромагнітний привід клапана газорозподілу; 19 – датчик температури повітря; 20 – датчик тиску наддуву; 21 – датчик масової витрати повітря; 22 – турбокомпресор; 23 – електропневматичний клапан системи управління рециркуляцією відпрацьованих газів; 24 – електропневматичний клапан системи регулювання наддуву; 25 – вакуумний електронасос; 26 – панель приладів; 27 – неперервний та контактний датчик положення педалі управління; 28 – контактний датчик положення педалі гальм; 29 – контактний датчик положення педалі зчеплення; 30 – датчик швидкості автомобіля; 31 – датчик регулятора швидкості автомобіля; 32 – компресор кондиціонера; 33 – задавач регулятора кондиціонера; 34 – індикатор системи діагностування з контактним роз'ємом для підключення діагностичного приладу. CAN – лінії зв'язку з мультиплексною системою автомобіля. Суцільні потовщені лінії – паливопроводи високого тиску; подвоєні тонкі лінії – паливопроводи низького тиску; подвоєні лінії різної товщини – електричні зв'язки.

#### *Використання керамічних матеріалів у дизелях*

Досить перспективним напрямом розвитку дизелів у майбутньому є застосування дизелів з обмеженим відведенням теплоти в охолоджуюче середовище, тобто наближення процесів, що відбуваються в камерах згоряння, до адіабатних – так званих адіабатних дизелів. Завдяки цьому збільшується робота газів у циліндрі дизеля та виникає можливість використання відпрацьованих газів, що виходять із циліндра з високою температурою, для отримання енергії поза циліндрами. Окрім того, вилучення системи охолодження та агрегатів, які забезпечують її роботу (вентилятор, насос для подавання води), має місце додаткове наростання енергетичних показників, поліпшення паливної економічності та зменшення маси і габаритів дизеля.

У цьому напрямку певних успіхів досягла японська фірма Hino, створивши турбокомпаундний адіабатний дизель з рекуперацією





**Рис. 6.29.** Витрата палива і викиди оксидів азоту 1 – звичайного і 2 – адіабатного дизелів

(зворотним одержанням) енергії у силовій турбіні. Головка поршня, верхня частина рубашки охолодження, випускні трубопроводи виготовлені з керамічних матеріалів. Витрата палива цього двигуна становить 167 г/кВт·год, з ефективним коефіцієнтом корисної дії приблизно 50 %.

Фірмою Cummins (США) розроблений адіабатний двигун з рекуперацією енергії

в силовій турбіні, яка працює на ВГ.

Теоретична та експериментальні дослідження токсичності адіабатних дизелів показали, що має місце зменшення викидів  $CO$  і  $C_mH_n$  та димності відпрацьованих газів, хоча кількість основного шкідливого компонента дизелів – оксиду азоту  $NO_x$  – дещо збільшується.

Проте, як видно з рис. 6.29, їх можна зменшити до рівня викидів звичайних дизелів зменшенням кута випередження впорскування.

На наш час недоліком адіабатних двигунів є їх малий строк служби, що пов'язано з недосконалістю керамічних матеріалів.

### **Добродієвічю аїї даоїї аїї єб аааа аїї çèí î âèõ äâèâóí æ ä èçæè**

Зниження концентрації  $NO_x$  досягається зменшенням максимальної температури, якого можна досягти застосуванням рециркуляції ВГ. Суть процесу рециркуляції полягає у відборі частини ВГ із випускної труби та подаванні їх до свіжої суміші. Цей метод зменшення токсичності застосовують як в бензинових двигунах, так і в дизелях.

Характеристика бензинового двигуна, зображена на рис. 6.30, свідчить, що зі збільшенням ступеня рециркуляції ВГ ( $R$ ) до 5 % майже не змінюється годинна витрата палива  $G_{пал}$ , питома витрата



палива  $g_e$ , крутний момент  $M_k$  і потужність  $N_e$ . При ступені рециркуляції, який перевищує 5 %, ці економічні та енергетичні показники погіршуються. Витрата повітря  $G_{пов}$  і коефіцієнт надміру повітря  $\alpha$  із збільшенням ступеня рециркуляції зменшуються, а концентрації  $CO$  і  $C_m H_n$  – зростають. Концентрація  $CO_2$  у ВГ майже не змінюється. Вміст оксидів азоту  $NO_x$  у ВГ різко зменшується внаслідок зменшення вільного кисню (із збільшенням ступеня рециркуляції  $R$  коефіцієнт надміру повітря зменшується) та зниження температури згоряння, про що свідчить зменшення температури ВГ ( $t_{вг}$ ) на випуску з циліндра.

Для цього режиму роботи двигуна оптимальний ступінь рециркуляції  $R_{опт}$ , близький до 5 %. За такого ступеня рециркуляції ВГ концентрація оксидів азоту а концентрації  $CO$  і  $C_m H_n$  зростають

застосування рециркуляції ВГ сприяє лише для дизелів.

Вплив рециркуляції на величину викидів

оксидів азоту  $NO_x$  спричиняє зростання викидів. Потрапляючи в оливи, частинки взаємодіють з присадками, в результаті чого якість оливи погіршується і прискорює зношування двигуна.

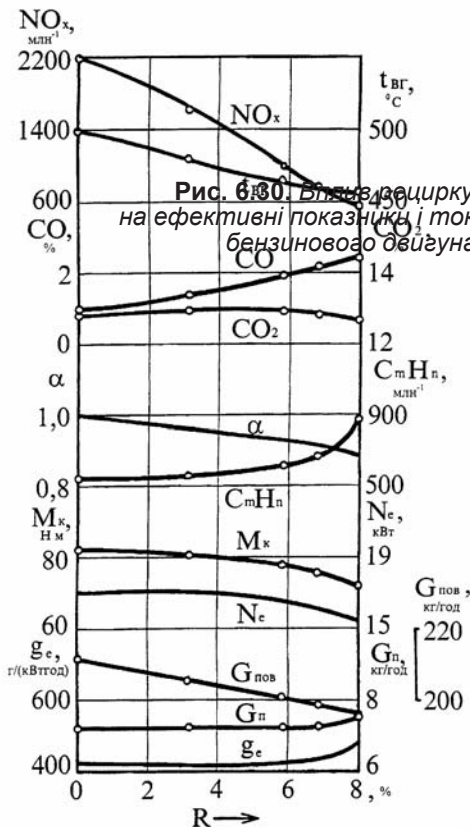


Рис. 6.30. Вплив рециркуляції на ефективні показники і токсичність бензинового двигуна

Таким чином, дослідження, проведені на дизелях, показали, що за різних ступенів рециркуляції відпрацьованих газів викиди  $NO_x$  зменшуються у 1,2–3 рази, а викиди  $C_mH_n$ , за високих ступенів рециркуляції, можуть зрости майже у 4 рази. Крім того, більшість досліджень показують, що рециркуляція ВГ збільшує витрату палива на 1–8 %.

Рис. 6.31. Вплив рециркуляції ВГ на викиди дизеля

### 6.5. Застосування нових типів силових установок

Спеціалісти вважають, що поршневі ДВЗ протягом найближчих років будуть основними на автомобільному транспорті. Пояснюють це відносною простотою, досконалістю і надійністю їх конструкцій; простотою обслуговування; широтою проведених досліджень і розробленням низки заходів, спрямованих на підвищення їх потужності, поліпшення економічності та екологічних показників й іншими властивостями, яких набули ці двигуни за більш як столітній період свого розвитку.

Та, незважаючи на переваги, властиві ДВЗ, вони вже досягли межі своєї досконалості, і подальші зміни, спрямовані на покращання їх показників, особливо з огляду токсичності, потребують значних витрат. Тому дедалі частіше йдеться про застосування на транспорті силових установок нових типів.

#### Двигуни Стірлінга

Двигуни названі іменем міністра у справах церкви Шотландії Роберта Стірлінга, який у 1816 р. отримав патент на машину, яка створює рушійну силу за допомогою нагрітого повітря.

Двигуни Стірлінга – це двигуни із зовнішнім підведенням теплоти, або їх ще називають “двигуни зовнішнього згоряння”, в яких ро-

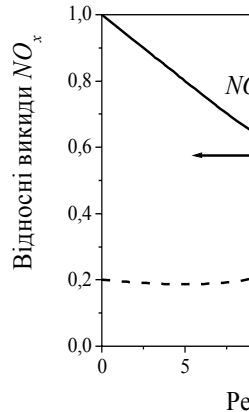


Рис. 6.31. Вплив рециркуляції ВГ на викиди дизеля

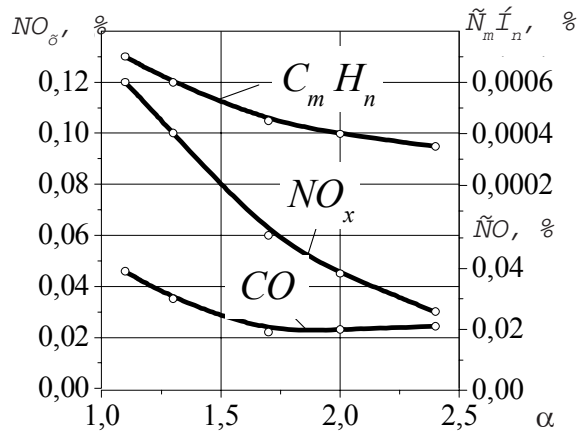


Рис. 6.32. Токсичні показники двигуна Стірлінга

ші порівняно з поршневыми двигунами внутрішнього згоряння (рис. 6.32).

Відбувається це завдяки постійному горінню палива при достатній кількості кисню і при якісному сумішоутворенні.

З рисунка видно, що із збільшенням суміші вміст  $CO$ ,  $NO_x$  та  $C_m H_n$  у відпрацьованих газах зменшується. Це свідчить про стабільність процесу згоряння суміші та зменшення температури у камері згоряння.

Принцип роботи двигуна зовнішнього згоряння схожий на двигун внутрішнього згоряння. Для одержання корисної роботи необхідно використовувати процес стискання робочого тіла при низькій температурі (тобто і за меншого тиску), а процес розширення має відбуватися при високій температурі (за високого тиску). Для здійснення цих процесів у двигуні Стірлінга (рис. 6.33) є дві порожнини – гаряча 5 і холодна 1.

Переміщення робочого тіла з однієї порожнини в іншу здійснює спеціальний витискувач 6. Під час переміщення робочого тіла з холодної порожнини в гарячу до нього в нагрівнику 4 підводять теплоту, при зворотному переміщенні в холодильнику 2 від нього теплоту відводять. Регенератор 3 застосовують для повного використання теплоти. Під час переміщення робочого тіла з гарячої порожнини в холодну частина теплоти повертається робочому тілу. Стискання робочого тіла і сприйняття зусиль, що виникають при його розширенні, здійснює робочий поршень 7.

В положенні "а" робоче тіло повністю витиснене з гарячої порожнини в холодну. В положенні "б" завершено стискання робочого

боचे тіло переміщують у замкнутому контурі, а теплоту до нього підводять іззовні від будь-якого джерела енергії, в тому числі сонячного та ядерного.

Навіть якщо використовувати енергію нафтового палива, викиди шкідливих речовин у таких двигунах значно менше

**Рис. 6.33.** Схема поршневого двигуна Стірлінга:

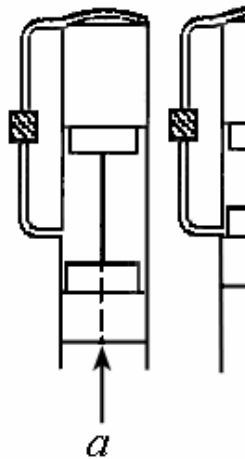
*а – з – положення поршня і витискувача при виконанні робочого циклу;  
д – схема двигуна; 1 і 5 – холодна і гаряча порожнини; 2 – холодильник;  
3 – регенератор; 4 – нагрівник; 6 – витискувач; 7 – робочий поршень;  
8 – буферна порожнина*

тіла в холодній порожнині робочим поршнем. Далі витискувач переміщує робоче тіло з холодної порожнини в гарячу, при цьому температура і тиск робочого тіла в результаті підведення до нього теплоти в регенераторі та нагрівачі зростають (положення “в”). Робоче тіло, розширюючись, переміщує поршні вниз (положення “з”), а далі витискувач переміщує робоче тіло з гарячої порожнини в холодну з відведенням теплоти в регенераторі та холодильнику.

На рис. 6.33д зображена схема одноциліндрового двигуна Стірлінга з механізмом, який забезпечує необхідні переміщення витискувача і робочого поршня. Крім того, такий механізм запобігає виникненню бічних сил і потраплянню газів під високим тиском у картер завдяки створенню під робочим поршнем буферної порожнини 8 з підвищеним тиском.

В сучасних двигунах Стірлінга робочим тілом є водень і гелій.

Результати порівняльних досліджень токсичності двигуна Стірлінга і ДВЗ наведено в табл. 6.7. За всіма основними токсичними речовинами двигун Стірлінга значно “чистіший”, ніж дизель і бензиновий двигун.



Таблиця 6.7

**Питомі викиди основних шкідливих речовин  
різними типами двигунів, мг/кДж**

Шкідлива речовина	Двигун Стірлінга	Дизель	Бензиновий двигун
Оксид вуглецю, $CO$	0,136–0,408	0,272–6,6	19,0–80,0
Вуглеводні, $C_mH_n$	0,004–0,008	0,8	3,8
Оксиди азоту, $NO_x$	0,136–0,270	0,55–0,27	3,8–7,6

Окрім значно меншої токсичності та хороших економічних показників, двигун Стірлінга має й інші переваги, що робить його прийнятним для застосування на транспортних засобах: низький рівень шуму під час роботи, незначна вібрація. Крім того, він має високий ККД і питому потужність, прийнятний перебіг кривої крутного моменту (що дозволяє спростити трансмісію), здатність працювати на різних видах палива і незначні витрати оливи для мащення.

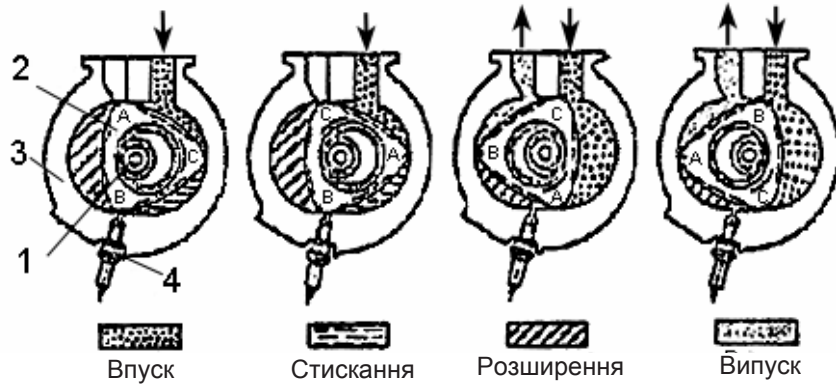
Двигунам Стірлінга властиві і недоліки: велика питома маса, висока вартість виробництва, складність конструкції, потреба у нових матеріалах і недовговічність деяких вузлів. Проте ці недоліки є наслідком недостатнього їх дослідження і можуть бути усунуті в процесі проведення подальших робіт і завдяки розвитку нових технологій.

#### *Роторні двигуни*

Ідея створення роторного двигуна, в якому ротор виконує функції поршня, здійснюючи обертальний або обертально-поступальний рух відносно корпусу, відома давно. Останнім часом особливу увагу приділяють двигунам із планетарним рухом ротора, який забезпечують дві шестерні – одна з яких маленька, нерухомо закріплена в корпусі двигуна, а друга – велика, сполучена з ротором.

Будова і принцип роботи такого двигуна зображені на рис. 6.34.

У нерухомому корпусі 3, робоча поверхня якого має профіль епітрохоїди (разом з ексцентрикним робочим валом 1, що обертається відносно своєї осі внаслідок внутрішнього зачеплення з нерухомою шестерінкою), обертається тригранний ротор 2. Вершини ротора переміщуються по траєкторії, наближеній до епітрохоїди.



**Рис. 6.34.** Схема двигуна Ванкеля:

1 – ексцентриковий вал; 2 – ротор; 3 – корпус; 4 – свічка

При обертанні ротора між його поверхнями, корпусом і торцевими кришками утворюються три замкнені порожнини (відсіки), об'єм яких змінюється від максимального до мінімального і навпаки. Така зміна забезпечує організацію робочого процесу за чотиритактним циклом у кожному з відсіків. За три оберти ексцентрикового вала двигуна ротор здійснює один повний оберт. До того ж процеси циклу здійснюються в кожному відсіку залежно від того положення, що він займає відносно корпусу. В корпусі встановлено свічку і зроблено впускні і випускні вікна. Всі чотири такти циклу відбуваються в порожнинах, утворених з трьох сторін ротора. На рис. 6.34 показано проходження робочого процесу для сторони АВ.

Роторні двигуни мають переваги порівняно з поршневіми двигунами традиційних схем: меншу кількість деталей (у роторних двигунах відсутні дві системи: клапанний газорозподіл і кривошипно-шатунний силовий механізм), меншу на 30–40 % металомісткість, кращу зрівноваженість (що дає можливість розвивати вищу частоту обертання), низький рівень шуму.

Основним недоліком цих двигунів є більша експлуатаційна витрата палива. Пояснюється це незручною формою камери згоряння, що підсилює схильність до детонації. Крім того, через більше відношення об'єму камери згоряння до загального об'єму в роторних двигунах зростає утворення вуглеводнів, у тому числі й канцерогенних. Тому ці двигуни, як правило, облагоджують термічними або каталітичними нейтралізаторами.

Окрім того, у роторних двигунах важко здійснити дизельний цикл, внаслідок низького геометричного ступеня стискання, який немож-

ливо підвищити через ненадійні ущільнення та складність виготовлення епітрохоїдальної робочої поверхні.

Через ці недоліки деякі фірми, які довгий час займалися розробкою і виробництвом роторних двигунів, повністю відмовилися від них у зв'язку з неперспективністю. В той же час японська фірма Mazda, володіючи високими технологіями виробництва, серійно виготовляє такий двигун, вважаючи, що роторний – це специфічний двигун, який передбачає створення під нього відповідного автомобіля, а не навпаки. Зважаючи на значно менші розміри роторного двигуна і можливість розташування його ближче до середини автомобіля, поліпшенням обтічності кузова автомобіля (коефіцієнт лобового опору – 0,362) досягають покращання економічності автомобіля вцілому.

Створена модель RX-7 має дві секції робочим об'ємом  $573 \text{ см}^3 \cdot 2$ , ступенем стискання 9,4, потужністю 95,7 кВт ( $7000 \text{ хв}^{-1}$ ). Витрата палива під час руху зі швидкістю 60 км/год становить 6,67 л/100 км. Для зменшення вмісту CO і  $C_m H_n$  застосована антитоксична система з термореактивним методом нейтралізації ВГ, а концентрацію  $NO_x$  зменшують застосуванням 20 % рециркуляції ВГ.

Подальший розвиток передбачає проведення досліджень у таких напрямках: забезпечення швидкого згоряння суміші (застосування асиметричних камер згоряння, збільшення ступеня стискання, застосування нових свічок запалювання, удосконалення ущільнень); зменшення теплових і механічних втрат; живлення бідними паливоповітряними сумішами, перехід на каталітичні нейтралізатори.

Щоб підвищити економічність, можливе застосування розширення паливоповітряної суміші. Для цього бензин впорскують електромагнітними форсунками з електронним керуванням. Розширення заряду дає можливість на деяких режимах покращити економічність на 8–13 %.

### *Газотурбінні двигуни (ГТД)*

Створення досконалих авіаційних ГТД сприяло розгортанню робіт щодо створення ГТД для автомобільного, залізничного та морського транспорту.

Газотурбінні двигуни мають переваги порівняно з поршневыми ДВЗ: менша питома маса і габаритні розміри, краща залежність крутного моменту від частоти обертання, легший запуск у холодну пору року, менші вимоги до палив, можливість отримати в одному агрегаті великі потужності завдяки роботі на високих частотах обертання.

Перешкодою для широкого впровадження ГТД на наземному транспорті, в першу чергу автомобільному, є такі властиві їм недоліки, як велика, навіть порівняно з поршневими бензиновими двигунами питома витрата палива, нижча прийомистість, шумність роботи. Окрім того, для виготовлення ГТД необхідні сплави хрому, нікелю, кобальту; деталі цих двигунів мають виготовлятися з високою точністю, що, звичайно, зумовлює високу вартість їх виробництва.

Схема транспортного ГТД зображена на рис. 6.35.

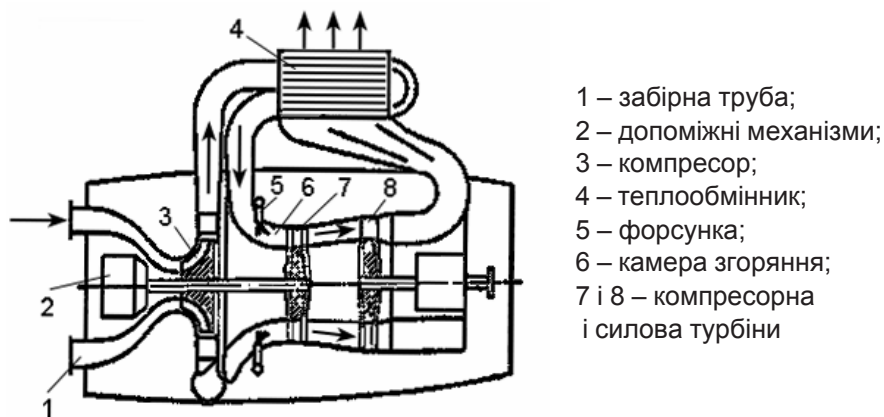


Рис. 6.35. Схема транспортного газотурбінного двигуна

Повітря з оточуючого середовища забірними трубами 1 надходить на лопаті компресора 3, де стискається і подається в теплообмінник 4. Там повітря підігрівається відпрацьованими газами і надходить у камеру згоряння 6, куди форсунками 5 впорскують паливо. Внаслідок згоряння температура і внутрішня енергія робочого тіла зростає. Потрапляючи на лопаті турбін 7 і 8, робоче тіло розширюється, виконуючи роботу. Відпрацьовані гази проходять крізь теплообмінник 4 частково віддають теплову енергію свіжому повітрю і викидаються в атмосферу. Турбіна 7 слугує для приведення компресора 3 і допоміжних механізмів 2. Від турбіни 8 редуктором здійснюють приведення рушія транспортної машини.

Численні науково-дослідні та конструкторські роботи щодо удосконалення ГТД дозволили усунути деякі перелічені недоліки. Застосування теплообмінників (регенерація теплоти) забезпечило по-



ліпшення паливо-економічних показників ГТД до рівня поршневих бензинових ДВЗ. Для покращання прийомистості застосовують поворотні лопаті в сопловому апараті і дифузори компресора.

Із застосуванням нових шумопоглинальних матеріалів знижують рівень шуму під час роботи ГТД. Ці та інші заходи дозволяють розглядати ГТД як один із перспективних джерел енергії на транспорті.

У ГТД паливо згорає у стійкому факелі за достатньої кількості кисню. Це й обумовлює значно нижчі викиди продуктів неповного згорання з відпрацьованими газами. В табл. 6.8 наведені порівняльні значення токсичності різних типів двигунів.

Таблиця 6.8

#### Токсичність викидів газотурбінних і поршневих двигунів

Двигун	Режим випробувань	Концентрація шкідливих речовин			Питома токсичність за CO, г/кВт·год
		CO, %	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> , мг/л	NO <sub>x</sub> , мг/л	
Автомобільний ГТД з теплообмінником	Номінальний	0,003	0,00078	0,1	24,9
	Холостий хід	0,004	0,0028	0,0048	–
Дизель з турбонаддувом	Номінальний	0,2	0,09	2,7	254
	Холостий хід	0,05	0,065	0,8	–
Бензиновий ДВЗ	Номінальний	3,6	1,79	4,0	272
	Холостий хід	4,5	4,75	0,2	

Концентрація токсичних речовин, особливо CO і C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, у відпрацьованих газах ГТД на один-два порядки нижча, ніж поршневих двигунів. Питома масова токсичність (віднесена до одиниці енергії) ГТД також нижча порівняно з поршневими ДВЗ у номінальному режимі. При випробуванні автомобіля з ГТД за їздовими циклами викиди CO у 8,52 і C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> у 6,1 разу нижчі, ніж при застосуванні бензинових ДВЗ.

Отже, газотурбінні двигуни є перспективним джерелом енергії на транспорті, в першу чергу, на автомобілях великої вантажності й автопоїздах.

## *Парові двигуни*

Парові двигуни – найдавніші джерела енергії на транспорті, у тому числі й автомобільному.

На початку ХХ століття їх широко застосовували, як і електричні двигуни, на перших автомобілях. Проте цим двигунам були властиві такі недоліки, як: велика маса і габаритні розміри, повільний запуск, велика витрата води, складність регулювання. Ці та інші недоліки призвели до того, що парові двигуни були повністю замінені на автомобілях поршневими двигунами внутрішнього згоряння.

Останнім часом парові двигуни все частіше розглядають як один із можливих конкурентів поршневих ДВЗ для застосування на автомобілях. Пояснити це можна кількома причинами.

По-перше, за роки, що минули, технологія котлобудування зробила великий крок уперед. Розроблені однотрубні та плоскі котли з малою кількістю робочої рідини, які забезпечують зменшення маси і габаритів парових котлів, легкий і надійний запуск, а також зменшення небезпеки вибуху котла. Якщо для запуску перших парових двигунів необхідно було понад 30 хв, то для сучасних двигунів цей процес скорочено до 15 с. Сучасні парові двигуни потребують дозаправлення водою лише після 500 км пробігу.

По-друге, за своїми масовими й економічними показниками ці двигуни наблизилися до поршневих ДВЗ. Питома маса сучасного парового двигуна навіть дещо нижча від дизеля, але значно перевищує масу бензинового ДВЗ.

Необхідно зважати, що сприятливий характер кривої крутного моменту парового двигуна залежно від частоти обертання дозволяє застосовувати на автомобілях такі двигуни з потужністю на 30–50 % меншою, ніж бензинові. Паливна економічність парових двигунів дещо гірша за поршневі бензинові ДВЗ, приблизно така, як роторних ДВЗ.

Головною причиною зацікавленості паровими двигунами зараз є можливість значно зменшити забруднення навколишнього середовища за умови їх використання на транспортних засобах. Пояснюється це тим, що джерелом теплоти є безперервне горіння палива з достатньою кількістю кисню, що і забезпечує меншу концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Це підтверджується даними про викиди основних шкідливих речовин автомобілями з різними типами двигунів при випробуванні за їздовими циклами (табл. 6.9).

Таблиця 6.9

### Викиди шкідливих речовин різними двигунами

Двигун	Шкідлива речовина		
	$C_mH_n$ , мг/л	CO, %	NO <sub>x</sub> , мг/л
Паровий	0,1	0,6	0,1
Роторний	1,1	14,4	1,4
Поршневий на СПГ	1,0	3,8	1,0

Менша токсичність, можливість використання недорогих палив нафтового походження, досконалість розроблених конструкцій роблять парові двигуни одним із можливих джерел енергії на транспорті в майбутньому.

### Електромобілі

Останнім часом електричну тягу широко застосовують лише на залізничному транспорті, що пояснюється відносно простою системою подавання електроенергії за умови усталених маршрутів руху.

Перспективи застосування електродвигунів на автомобілях визначає, перш за все, досконалість джерел електроенергії. Зараз найреальнішим є використання акумуляторів.

Відомо кілька типів акумуляторних батарей. Оцінкою їх досконалості щодо застосування на автомобілі може бути питома енергія, тобто кількість енергії, яку отримують при розрядженні (як правило, це 5 годин) з одиниці маси батареї. Вважають, що широке використання електромобілів можливе за наявності батарей з питомою енергією 100 Вт·год/кг.



Рис. 6.36. Електромобіль

Найбільш розповсюджені на сьогодні, свинцеві акумулятори мають питому енергію до 40 Вт·год/кг. Нікель-кадмієві 50 Вт·год/кг, але вони значно дорожчі за свинцеві. Перспективними є срібно-цинкові акумулятори, в яких питома енергія ста-

новить 200 Вт·год/кг. Проте вартість їх у кілька разів вища за свинцеві.

Хлорно-літієві та сірчано-натрієві акумулятори, в яких питома енергія дорівнює 250–300 Вт·год/кг, функціонують при підвищених температурах (500–600 °С), і вони поки що перебувають у стадії експериментальних досліджень. Таким чином, широке застосування електромобілів зараз ще стримується такими вадами, як обмежений запас ходу.

Крім акумуляторів, як джерело електроенергії на транспорті можуть застосовувати паливні елементи. В них електричну енергію отримують у результаті окислення пального. Здійснюють це таким чином: до негативного електрода подають пальне (водень, вуглеводні), а до позитивного – окисник (кисень, повітря).

Внаслідок електролізу відбувається окиснення палива на негативному і відновлення окисника на позитивному електродах. Енергія цієї реакції – електрична, споживач підключено у зовнішнє коло електродів елемента. Для роботи елемента необхідно безперервно підводити до електродів паливо й окисник та відводити продукти реакції. Найбільш вивченими є воднево-кисневі паливні елементи.

Паливні комірки розрізняють: з протонообмінною мембраною PEM (Proton exchange membrane) та на основі твердих оксидів SOFC (Solid oxide fuel cell).

Паливні комірки другого типу SOFC призначені для використання в потужних установках, наприклад, промислових електростанціях.

На автомобілях, переважно, застосовують паливні комірки з PEM, що функціонують при більш низьких температурах і мають високу питому потужність. Вони успішно можуть використовуватись на автомобілях малої вантажопідйомності.

Паливна комірка з PEM (рис. 6.37) складається з мембрани 4 і двох пластин 2 і 5, що мають порожнини 1 і 6. Пластини це – електроди (анод 2 і катод 5), між якими розміщена мембрана, на обидві поверхні якої нанесено платиновий каталізатор 3. Водень каналами підводиться до анода 2, де на платиновому каталізаторі 3 прискорюється його ділення на протони й електрони. З протилежної сторони мембрани 4 повітря (кисень) каналами надходить до катода 5. Кисень крізь мембрану 4 притягує до себе протони водню. Електрони, проходячи обмоткою електродвигуна 7, сполучаються з протонами і воднем з утворенням води з боку катода 5.

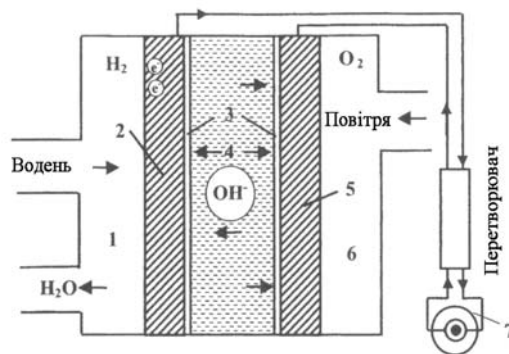
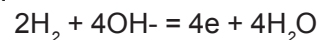
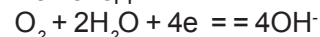


Рис. 6.37. Паливна комірка

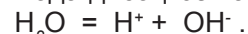
На аноді протікає реакція:



На катоді:



Вода дисоціює на іони:



У паливних комірках відбувається процес, зворотний електролізу.

Переваги застосування паливних комірок полягають у перерозподілі та зменшенні споживання природних ресурсів

внаслідок їх високої ефективності (ККД дизеля – 24 %, ККД паливних комірок – 37 %, а в майбутньому – 45 %); відсутність шкідливих викидів; відсутність шуму.

В енергетичній установці міського автобуса фірми MAN, джерелом енергії якої є паливні комірки: потужність паливних комірок 120 кВт, напруга – 450–460 В, витрата водню – 8 кг/год, запас ходу автобуса – 250 км, максимальна швидкість – 85 км/год.

Не можна стверджувати, що повсюдне застосування електромобілів вирішить усі проблеми. Необхідно зважати на те, що для переведення автомобілів на електричну тягу необхідно побудувати нові електростанції для забезпечення електричною енергією акумуляторів, що спричинить додаткові викиди шкідливих речовин. Проте це дозволить розвести джерела забруднення, винести їх за межі населених пунктів. Окрім того, додадуть забруднення випаровування та проливання електролітів, утилізація спрацьованих акумуляторних батарей. До негативних явищ можна віднести і посилення електромагнітного випромінювання, яке в сучасних містах вже на 33 % формує транспорт.

### Інерційні двигуни

Інерційні (махові) двигуни – це двигуни, в яких механічну енергію запасає диск чи циліндр, що швидко обертається. Саме маховик є оптимальним рекуператором енергії для автомобілів з огляду питомої енергії, ваги, габаритів.

Застосування інерційних акумуляторів енергії на транспорті запропоновано вже давно. Ще в 1860 р. російський інженер В.І. Шуберський висловив ідею використання для приведення в дію екі-

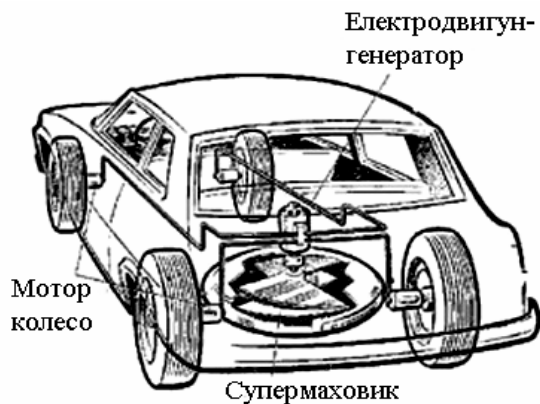


Рис. 6.38. Автомобіль із супермаховиком

умній камері на пружній підвісці. Підвищена зацікавленість інерційними двигунами в останній час, як і електромобілями, пояснюється прагненням зменшити кількість шкідливих викидів транспортом у місцях найбільш імовірного перебування великої кількості людей. Загальний розвиток машинобудування надає можливість створити більш досконалі акумулятори механічної енергії.

Маховик має велику питому потужність, що дозволяє швидко передавати енергію на колеса, забезпечуючи ефективне прискорення (розгін) автомобіля. Під час гальмування енергію системою рекуперації повертають до маховика також дуже швидко і без обмежень.

Зараз перспективу використання інерційних двигунів пов'язують з розробленням так званих супермаховиків (рис. 6.38), які виготовляють з високоміцних шароволокнистих і ниткоподібних матеріалів, які забезпечують високу питому енергоємність і безпеку в разі руйнування.

пажів маховика, створивши так званий маховоз. Великий внесок у створення працездатних інерційних акумуляторів зробив російський винахідник А.Г. Уфимцев, який у 20-х роках отримав патент на акумулятор, в якому маховик, що є диском однакової міцності, розміщено у ваку-

Накопичувач
Литі сталеві маховики
Супермаховики з вуглецевих сталевих смуг

Таблиця 6.10

### Питома енерговмісність сучасних накопичувачів енергії

Хоча застосування суто інерційних двигунів й усуває викиди шкідливих речовин в атмосферу, широке їх використання у найближчі роки нереальне через недостатню кількість досліджень цих двигунів, а також необхідність розроблення принципово нових конструкцій трансмісії автомобіля і підвищення їх надійності та довговічності.

### *Гібридні енергетичні установки*

Суттєві недоліки ДВЗ – зменшення ККД за умови неповних навантажень, емісія токсичних компонентів з відпрацьованими газами – зумовлюють необхідність створення гібридних установок. Мета створення таких установок полягає у комбінації декількох різних установок, переваги кожної з яких реалізуються залежно від зміни умов роботи.

Переважно в гібридних установках застосовують ДВЗ невеликої потужності, що забезпечують роботу транспортного засобу в режимах середніх навантажень, а різницю між створюваною цими двигунами потужністю і необхідною потужністю, отримують застосуванням додаткового енергонакопичувача.

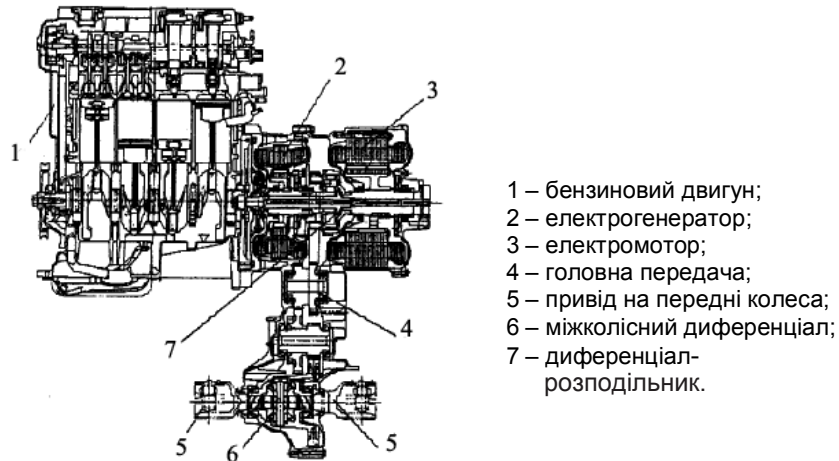
Перспективними вважають застосування автомобілів з комбінованим приводом, в яких використовують ДВЗ малої потужності, що працює в усталеному режимі, та буферну акумуляторну батарею. Під час роботи, залежно від режиму, тягові електродвигуни отримують енергію або ту, яку виробляють ДВЗ, або від акумуляторів. На нетягових режимах відбувається заряджання акумуляторів від ДВЗ.

Прикладом може слугувати автомобіль фірми Toyota Prius, оснащений двигуном потужністю 53 кВт і електродвигуном потужністю 30 кВт. Під час переміщення містом автомобіль працює переважно на електричній тязі, а лише у випадку, коли необхідна хороша динаміка, підключається ДВЗ. На трасі переважно працює бензиновий двигун. Гальмування цього двигуна рекуперативне: тяговий електродвигун переключається в режим генератора і підзаряджає батареї.

Споряджена маса такого автомобіля – 1250 кг, проте розгін до 100 км/год триває 13,4 с, а максимальна швидкість його – 160 км/год. Споживання палива становить 4,6–5,9 л на 100 км.

Більш реальним є використання гібридних силових систем, до яких входить ДВЗ малої потужності і маховик, що може відокремлюватись від двигуна і використовуватись для рекуперації енергії під час гальмування і розганяння автомобіля. Використання гібрид-





**Рис. 6.38.** Силовий агрегат автомобіля "Приус"

ної силової системи забезпечує роботу ДВЗ практично в усталеному режимі за виключенням режимів, де відбувається підвищений викид шкідливих речовин.

Фірмою Rosen Motors (США) розроблено експериментальний гібридний автомобіль із силовою установкою, що поєднує газотурбінний ДВЗ з електрогенератором (турбогенератор) і супермаховик. Турбогенератор потужністю 30 кВт, який запускають електричні батареї, протягом 2 хвилин розганяє нерухомий супермаховик до потрібної швидкості обертання. В стані повного "заряду" супермаховик накопичує енергію до 1 кВт/год і передає її на колеса автомобіля з ККД більше 80 %. Даний інерційний акумулятор зберігає енергію практично без втрат впродовж декількох тижнів.

Під час руху автомобіля швидкість обертання маховика змінюється в межах від 28 000 до 60 000 хв<sup>-1</sup>. Мотор-генератор, поєднаний із супермаховиком, може приймати і віддавати потужність до 150 кВт.

Випробування такого гібридного автомобіля показали високі швидкісні якості при застосуванні ДВЗ малої потужності, суттєву економію палива і зменшення вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах.



## Література

1. Автомобильный справочник. Перевод с англ. Первое русское издание. – М.: За рулем, 2000. – 896 с.
2. Air polluting emissions by road traffic in Netherlands during 1980–90. – Netherlands Central Bureau of Statistics, 1992.
3. Автомобиль на топливных элементах в Японии. Автомобильная промышленность. – США, 1997. – № 1.
4. Автомобильный транспорт. Серия 1. Безопасность движения и охрана труда на автомобильном транспорте. Обзорная информация. – М. 1990. – 42 с. – ЦБМТИ Министерства автомобильного транспорта РСФСР. – № 4.
5. Автомобильный транспорт. Серия 1. Безопасность движения и охрана труда на автомобильном транспорте. Обзорная информация. – М. 1988. – 60 с. – ЦБМТИ Министерства автомобильного транспорта РСФСР. – № 1.
6. Американские дизелестроители о нормы ЕПА на 1991 и 1994 годы // Автомоб. пр-сть США. – 1990. – № 4. – С. 17–18.
7. Барина Л. Д. Экология и транспорт. – РАН. Транспорт, наука, техника, управление, 1997. – № 7. – С. 5–10.
8. Воронин В. Г. Токсичность АГТД, дизелей и бензиновых двигателей // Автомобильная промышленность, 1986. – № 5. – С. 10–12.
9. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. – М.: Экономика, 1986. – С. 43–55.
10. Автомобиль в США / Глейзер Л.А. // Автомобильная промышленность. – 1993. – № 2. – С. 33–36.
11. Глухов В.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П. Экономические основы экологии: Учебник. – СПб.: Специальная литература, 1997. – 304 с.
12. Городской автобус с рециркуляцией энергии торможения. Автомобильная промышленность США. – 1995. – № 4–5. – С. 18–24.
13. Гутаревич Ю.Ф. Запобігання забрудненню повітря двигунами. – К.: Урожай, 1982. – 64 с.
14. Гутаревич Ю.Ф. Охрана окружающей среды от загрязнения выбросами двигателей. – К.: Урожай, 1989.
15. Гутаревич Ю.Ф., Рубцов В.А., Худолий Н.Н. Влияние регулировок на экономические и токсические показатели бензиновых двигателей // Автодорожник Украины. – 1984. – № 2. – С. 27–29.
16. Двигатель Стирлинга: прошлое, настоящее, будущее. – Автомобильный транспорт, 1992. – № 9. – С. 19–21.
17. Дитячев А.В. Образование альдегидов в автомобильных двигателях // Сб. научных трудов ХАДИ. – Вып. 29. – К.: Техника, 1992. – С. 65–68.
18. Дьяков А.К., Игнатъев Ю.В., Кошкин Е.П. Экологическая безопасность транспортных потоков. – М.: Транспорт, 1989, – 128 с.
19. Екологія і закон. Екологічне законодавство України. У двох книгах. – К.: Юрінком Інтер, 1998. – Кн. 1. – 698 с., Кн. 2. – 574 с.
20. Защита окружающей среды от вредных выбросов автомобильного транспорта: Уч. пособие /Ю.Ф. Гутаревич, А.Г. Говорун, А.И. Ковалев. – К.: УМК ВО Минвуза УССР, 1989. – 128 с.
21. Исследование сгорания водотопливных эмульсий в дизеле // Поршневые и газотурбинные двигатели. – М., 1986. – С. 23–28 – (Экспресс-информ/ВИНИТИ; № 39).

22. Исследования в области создания адиабатных двигателей // Поршневые и газотурбинные двигатели. – М., 1986. – № 39, С. 23–28.
23. Колотило Д.М. Екологія і економіка: Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 1999. – 368 с.
24. Коссов М.А. Автомобильные газотурбинные двигатели. – М.: Машиностроение, 1964. – 363 с.
25. Куриков А. Дизели меняют рацион // Наука и жизнь. – № 6. – 1993. – С. 26–30.
26. Куценко А.С. С водородным двигателем. Автомобильная промышленность. – 1995. – № 5, С. 11–12.
27. Лабораторные и эксплуатационные испытания газохоло // Поршневые и газотурбинные двигатели. – М., 1986. – № 16, С. 16–18.
28. Луканин В.М., Трофименко Ю.В., Ефремов А.В.: Постановка оптимизационных задач в системе «Автотранспортный комплекс – окружающая среда» // Транспорт, наука и техника, управление. – 1993. – № 5. С. 5–12.
29. Луканин В.Н. и др. Оценка влияния транспорта на загрязнение атмосферного воздуха, в крупных городах. – РАН. Транспорт: наука, техника, управление, 1997. – № 6. – С. 2–5.
30. Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: МАДИ(ТУ), 2000. – 311 с.
31. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами. Затверджена Держкомстатом України. Вип. ВАТ «УкрНТЕК», м. Доноцьк, 1999. – 107 с.
32. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей. – К.: Наук. думка, 1984. – 143 с.
33. Морев А.И., Ерохов В.И. Опыт применения газового топлива за рубежом. В сб.: Вопросы технической эксплуатации и ремонта автомобилей / «Информтранс». – М., 1991. – 50 с.
34. Навколишнє середовище та його охорона. Навч. посібник / Б.Г. Бурдяк, В.О. Дерев'яно, А.І. Кривульченко. – К.: Вища школа, 1999. – 227 с.
35. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 1998 році. Міністерство охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України.
36. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 1995 р. – Київ: Мінекобезпеки України, 1997. – 155 с.
37. Непосредственный – не посредственный // За рулем. – 1996. – № 11, с. 42–44.
38. Новости автомобилестроения. – Автомобильная промышленность США. – 1997. – № 1.
39. Новости автомобилестроения. – Автомобильная промышленность США. – 1997. – № 3.
40. Новые требования к уровню внешнего шума АТС / Ю.В. Глевко, Б.Н. Енукидзе, Т.В. Иванова // Автомобильная промышленность. – № 1. – 1997. – С. 30–33.
41. Нормування екологічних показників ДТЗ: розвиток, стан, перспективи / Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф. // Автошляховик України. – № 4. – 2001. – С. 2–9.
42. «Основи загальної екології»: Підручник / Г.О. Білявський, М.М. Падун, Р.С. Фурдуй. – 2-е вид., зі змінами. – К.: Либідь, 1995. – 368 с.
43. Перспективные автомобильные топлива: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1982. – 319 с.
44. Перспективный дизель для легковых автомобилей // Поршневые и газотурбинные двигатели. – М.: 1984. – № 23, С.1–3.
45. Преображенський В.П. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник

- для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов». – 3-е изд., перероб. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
46. Природопользование. Словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. – М.: Мысль. – 1990. – 637 с.
  47. Прогнозы производства автомобилей в Западной Европе. – Автомобильная промышленность США. – 1995. – № 6. – С. 3.
  48. Разработка мероприятий по повышению эффективности использования топлива в транспортном секторе. Учебное пособие / ТАСИС, 1996.
  49. Райков И.А. Испытания двигателей внутреннего сгорания. – М.: Высш. школа. – 1975. – 320 с.
  50. Рева В.М., Редзюк А.М. Транспортному комплексу України – сучасні автомобілі. – Автошляховик України. – С. 2–3.
  51. Руководство по гигиене атмосферного воздуха. – М.: Медицина, 1976. – 416 с.
  52. Сборник законодательных, нормативных и методических документов для экспертизы воздухоохраных мероприятий. – Л.: Гидрометеиздат. – 1986. – 320 с.
  53. Смаль Ф.В., Арсенов Е.Е. Перспективные топлива для автомобилей. – М.: Транспорт, 1979. – 151 с.
  54. Совершенствование двигателей NISSAN // Поршневые и газотурбинные двигатели. – М., 1982. – № 9. С. 3–8.
  55. Сухарева Л.С. Применение марганцевого антидетонатора в качестве добавки к автомобильным бензинам. В кн.: Организация природоохранной деятельности на автомобильном транспорте / НИИАТ. – М., 1990. – С. 81–85.
  56. Тарасов А. Пешеходов надо любить. – Автомобильный транспорт, 1995. – № 3. – С. 42–43.
  57. Тихонов Ю.В. Форкамерный двигатель ЗМЗ-4022.10. Автомобильная промышленность. – 1991. – № 11. – С. 16–18.
  58. Транспорт и окружающая среда. Учебное пособие. – ЕВКО. Haskoning, 1996.
  59. Транспорт і навколишнє середовище / Говорун А.Г., Скорченко В.Ф., Худолій М.М. – К.: Урожай, 1992. – 144 с.
  60. Трегобчук В. Київ: екологія та економіка міста. – К.: товариство “Знання” України. – 1992. – 48 с.
  61. Уорк К., Уорк С. Загрязнение воздуха. Источники и контроль: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 539 с.
  62. Уоркер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга: Перевод с английского. – М.: Энергия, 1978.
  63. Філіппов А.З. Промислова екологія (транспорт): навч. посібник. – К.: Вища школа, 1995. – 82 с.
  64. Формы проявления местных и региональных экологических проблем // экологические проблемы на транспорте. – М., 1993. – С. 2–7. (Экспресс-информ / ВИНТИ; № 42).
  65. Чириков К.Ю. Необычные двигатели. – М.: Знание, 1976. – 64 с.
  66. Экологические проблемы на транспорте: Обзирформация / ВИНТИ. – М., 1991. – Вып. 34. – 19 с.
  67. Экология транспорта / Е.И. Павлова, Ю.В. Буралев. – М.: Транспорт, 1998. – 232 с.
  68. Экология: Учебник для технических вузов / Л.И. Цветкова, М.И. Алексеев и др./ Под. ред. Л.И. Цветковой. – М.: Изд-во АСВ: Химиздат, 1999. – 4788 с.
  69. Янг С., Эллісон А. Измерение шума машин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 144 с.

Навчальне видання

**ГУТАРЕВИЧ Юрій Феодосійович  
ЗЕРКАЛОВ Дмитро Володимирович  
ГОВОРУН Анатолій Григорович  
КОРПАЧ Анатолій Олександрович  
МЕРЖИЄВСЬКА Любов Павлівна**

**ЕКОЛОГІЯ  
ТА АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ**

**Навчальний посібник**

В авторській редакції

Технічний редактор – **Т. Демчук**  
Комп'ютерна верстка – **О. Мельник**  
Коректори – **О. Сидорук, Н. Алексєєва**

Підписано до друку 08.09.2005.  
Папір офсетний. Формат 60x84/16. Друк офсетний. Гарнітура Arial.  
Ум. друк. арк. 27,67. Обл.-вид. арк. 28,84.  
Наклад      Зам. № 4554.

**Видавництво “Арістей”**

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції ДК № 1066 від 27.09.2002 р.

**02105 м. Київ, вул. Миколаївська, 13 А**  
**т./ф. (+38 044) 451-44-66 (адреса електронної пошти)**  
**[aristey@optima.com.ua](mailto:aristey@optima.com.ua) (електронна пошта)**  
**[aristey1@optima.com.ua](mailto:aristey1@optima.com.ua) (електронна пошта)**  
**[www.aristey.kiev.ua](http://www.aristey.kiev.ua)**

















