

## ЛЕКЦІЯ 6. АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА (1 частина)

План лекції:

1. Газоподібні палива. Загальні відомості
2. Скраплений газ
3. Природний газ
4. Генераторний газ. Біогаз. Синтез-газ
5. Особливості використання газоподібних палив
6. Контрольні запитання

### ГАЗОПОДІБНІ ПАЛИВА. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

У двигунах внутрішнього згорання поряд із рідкими паливами застосовують газоподібні. Автомобільна промисловість на базі бензинових автомобілів серійно випускає газобалонні, які в основному використовуються як міський транспорт.

Швидке зростання автомобільного парку в містах вимагає знаходження способів зменшення токсичності відпрацьованих газів. Ця проблема може бути частково вирішена під час переведення автомобілів на газоподібне паливо. Значну частину автомобілів у великих містах вже переведено на газоподібне паливо, яке має суттєві техніко-економічні та санітарно-гігієнічні переваги перед іншими автомобільними паливами. При роботі на ньому відбувається повніше згорання палива, знижується токсичність відпрацьованих газів. Так, у відпрацьованих газах двигунів, що працюють на скрапленому газі, приблизно в 5 разів менше діоксиду вуглецю і в 3...3,5 рази менше вуглеводнів, що не згоріли, у порівнянні з вмістом цих компонентів у відпрацьованих газах автомобілів, що працюють на бензині (табл.1).

Таблиця 1 – Склад відпрацьованих газів газоподібних палив та бензину, г/100км

Склад відпрацьованих газів	При використанні		
	бензину	стиснутих газів	скраплених газів
Незгорілі вуглеводні	187,5	131,3	55,0
Діоксид вуглецю	1250	468,8	256,3
Оксиди азоту	250	118,8	118,8

Працюючи на газоподібному паливі знижуються нагароутворення, витрата моторної оливи. Крім того, газоподібне паливо має високі октанові числа і теплоту згорання. У таблиці 2 наведено деякі показники якості газоподібних вуглеводнів.

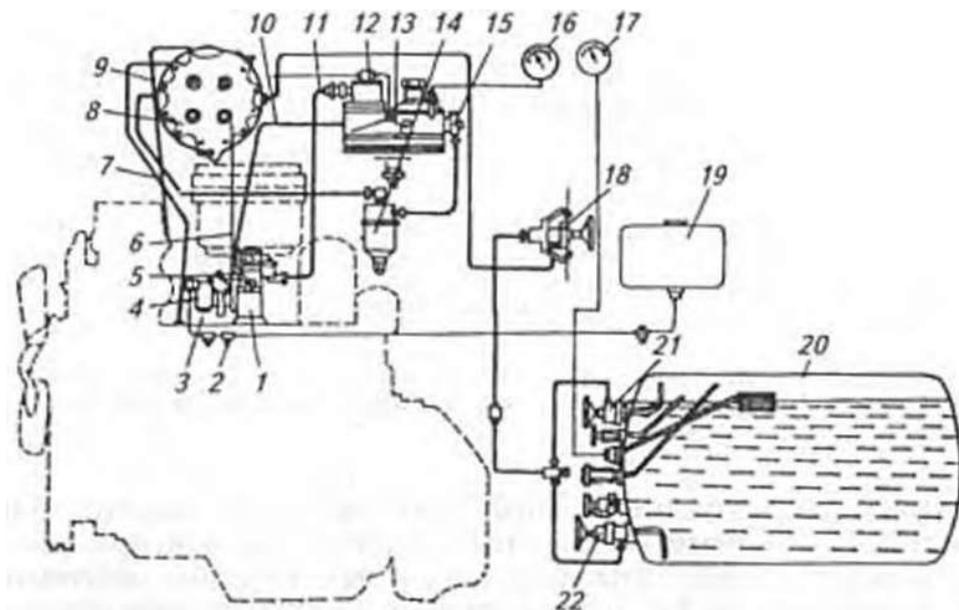
Таблиця 2 – Показники газоподібних вуглеводнів

Вуглеводень	Відносна щільність за повітрям	Критична температура <sup>1</sup> , °С	Температура кипіння, °С	Нижча теплота згорання, МДж/м <sup>3</sup>	Октанове число за дослідницьким методом
Метан	0,554	- 82,1	- 161	35,8	120
Етан	1,138	32,3	- 94	63,7	116,3
Пропан	1,523	95,7	- 44	91,2	111,6
Пропілен	1,453	91,6	- 47	86	102,6
н-Бутан	2,007	152,8	- 0,5	118,6	95,8
Бутилен	1,937	144,0	- 5	113,5	91,4
Ізобутан	2,007	134,0	- 11,7	118,6	102,1

<sup>1</sup>Температура, вище якої газ не може бути зрідженим ні під яким тиском.

Сировиною для одержання газоподібного автомобільного палива є природний і попутний газ, що виділяються при видобутку нафти, а також газ нафтопереробних, нафтохімічних заводів та ін. Основні компоненти природних газів: метан, у менших кількостях етан, пропан, бутан. **Вуглеводні, критичні температури яких вищі за звичайні температури експлуатації автомобілів, легко переходять у рідкий стан під певним тиском і тому називаються скрапленими.** До таких вуглеводнів належать **пропан, бутан.** Для переведення пропану в рідкий стан необхідний тиск **0,85 МПа**, а для бутану – **0,2 МПа** при **20 °С**. **Вуглеводні, критичні температури яких нижчі за звичайні температури експлуатації автомобілів, застосовують, як правило, в стислому стані і називають стиснутими.** До них відносяться **метан** та **етан.** Для переведення метану в рідкий стан необхідні температури нижче **мінус 82°С**. При температурі **мінус 161°С** метан переходить в рідкий стан при атмосферному тиску. При температурах вище **мінус 82°С** він не може бути переведений в рідкий стан ні за якого високого тиску стиснення.

Газобалонні автомобілі відрізняються від базових бензинових моделей більш високим ступенем стиснення робочої суміші в двигуні та наявністю газобалонної установки. Складові частини газобалонної установки: паливоподаюча апаратура, що забезпечувала випаровування, зниження тиску та дозування газу відповідно до режиму роботи двигуна; балони для транспортування та зберігання газу (рис. 1).



- 1 - проставка; 2 - фільтр-відстійник; 3 - паливний насос; 4 - карбюратор; 5 - змішувач газів.  
 6, 10 - трубки; 7, 9, 11 - шланги; 8 - випарювач; 12 - дозуючий пристрій; 13 - редуктор газу;  
 14 - газовий фільтр; 15 - сітчастий фільтр; 16 - манометр;  
 17 - вказівник рівня зрідженого газу в балоні; 16 - магістральний вентиль; 19 - паливний бак;  
 20 - балон; 21 - вилучувач пари; 22 - вилучувач рідини.

Рисунок 1 – Схема газобалонної установки автомобіля

Однак газоподібне паливо має деякі недоліки. Основним недоліком є те, що газонаповнювальні станції в порівнянні з автозаправними станціями рідким паливом складніші і дорожчі. Це стримує використання газобалонних автомобілів на міжміських перевезеннях. При переведенні бензинових двигунів на газоподібне паливо без додаткових переробок погіршуються енергетичні показники двигуна: потуж-

ність двигуна знижується на **6...8%** при роботі на зрідженому газі та на **18... 19%** при роботі на природному газі через зниження коефіцієнта наповнення, нижчої теплоти згоряння газоповітряної суміші та ін.

### СКРАПЛЕНИЙ ГАЗ

В автомобільних двигунах використовують скраплені гази, які отримують у процесі перегонки нафти. Ці гази мають високу теплоту згоряння, транспортабельні, перевозяться транспортом будь-якого виду. При роботі на скраплених газах двигуни мають високі техніко-економічні та санітарно-гігієнічні показники. Скраплені гази переходять із газоподібного стану (парової фази) в рідкий (рідку фазу) при температурі навколишнього повітря та відносно невеликих тисках.

Для автомобільного транспорту випускають скраплений газ марок **ПА – пропан автомобільний та ПБА – пропан-бутан автомобільний**. Фізико-хімічні показники цих газів наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Фізико-хімічні показники скраплених автомобільних газів марок ПА та ПБА

Показник	ПА	ПБА
Масова частка компонентів, %:		
сума метану та етану	Не нормується	
пропан	90 ± 10	50 ± 10
сума вуглеводнів вище C <sub>4</sub>	Не нормується	
сума ненасичених вуглеводнів, не більше	6	6
Тиск насиченої пари, надлишковий, МПа, при температурі:		
+45°C, не більше	—	1,6
-20°C, не менше	—	0,07
-35°C, не менше	0,07	—
Масова частка сірки та сірчистих з'єднань, %, не більше	0,01	0,01
У тому числі сірководню, не більше	0,003	0,003

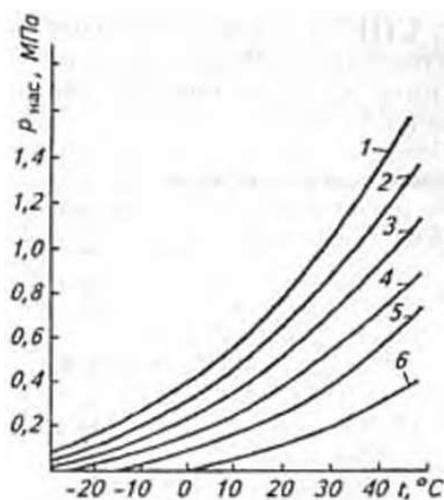
*Примітка. У газах обох марок є рідкий залишок при температурі +40°C і не містяться вільна волога і луги.*

У систему живлення двигунів, що працюють на скрапленому газі, входять балони загальною місткістю 225 л, які розраховані на тиск 1,6 МПа.

Газ марки ПБА призначений для всіх кліматичних районів за температурою навколишнього повітря не нижче -20°C, а марки ПА – в зимовий період для тих кліматичних районів, де температура повітря нижча від -20°C. Рекомендований температурний інтервал застосування газу марки ПА від -20 до -35°C. У весняний період з метою повної витрати запасів скрапленого газу марку ПА допускається застосовувати при температурі до 10°C.

Основні компоненти скрапленого газу, що забезпечують оптимальний тиск насиченої пари в газовому балоні – пропан і пропілен. Тиск насиченої пари істотно впливає на роботу газової установки автомобіля. На рисунку 2 показана залежність

тиску насичених парів  $P_{нас}$  пропанобутанових сумішей від температури  $t$ . Тиск парів зростає з підвищенням температури, причому у пропану значно швидше, ніж у бутану. Чим більше в пропанобутановій суміші пропану, тим вище пружність парів суміші. Знаючи тиск суміші за певної температури, можна оцінити відсотковий вміст у ній пропану та бутану.



1 - пропан; 2 - 80% пропану + 20 % бутану; 3 - 60 % пропану + 40 % бутану;  
4 - 40 % пропану + 60 % бутану; 5 - 20 % пропану + 80 % бутану; 6 - бутан.

Рисунок 2 – Тиск насиченої пари пропанобутанових сумішей від температури

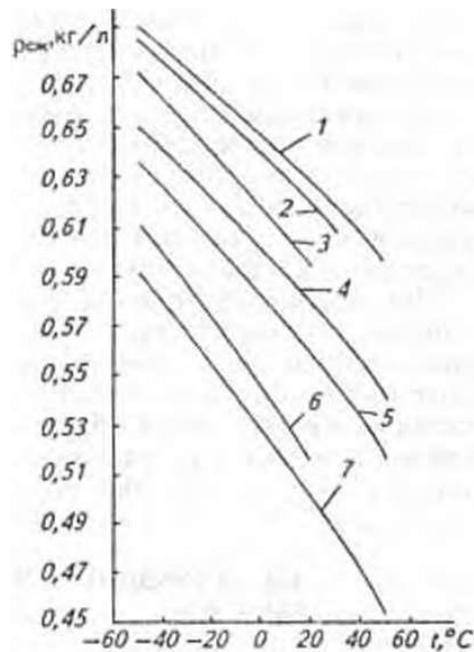
За максимальним тиском насичених парів суміші визначають міцність газового балона, а для забезпечення нормальної роботи паливної апаратури суміш повинна мати надлишковий тиск не менше **0,1 МПа**. Змінюючи компонентний склад, одержують зимові та літні суміші. Так, зимова суміш містить 75% пропану та пропілену, а літня суміш – 60% бутану та бутіленів. Бутанові вуглеводні (бутан, ізобутан, бутілен, ізобутілен та ін.) мають найбільшу теплоту згоряння і легко стискаються.

За щільністю рідкої фази можна судити про концентрацію енергії в одиниці об'єму скрапленого газу, що відноситься до легких рідин, щільність яких становить 0,5...0,55 кг/л. Відмінна риса скраплених газів – вищий коефіцієнт об'ємного розширення, ніж у рідких нафтопродуктів.

На рисунку 3 показано зміну щільності скраплених газів залежно від температури.

Наприклад, щільність пропану в скрапленому вигляді при  $-10^{\circ}\text{C}$  дорівнює 0,54 кг/л, а при  $30^{\circ}\text{C}$  зменшується до 0,48 кг/л. При цьому питомий обсяг зростає на 11%. Ця властивість враховується при заповненні балона газом, залишаючи близько 10% обсягу на парову подушку. Якщо балон повністю заповнений, тобто не буде парової подушки, то навіть незначне підвищення температури зрідженого газу призведе до різкого збільшення тиску в балоні. Збільшення тиску в балоні становить приблизно 0,7 МПа на градус підвищення температури зрідженого газу.

Усі компоненти скрапленого газу, крім метану та етилену, важчі ніж повітря, тому, з витоком вони накопичуються в низьких місцях (на підлозі, у канавах, ямах), утворюючи вибухову суміш. Скраплені гази менше вогне- та вибухонебезпечні, ніж бензинові пари. Скраплені гази утворюють вибухонебезпечні суміші з повітрям з концентрацією парів пропану від 2,1 до 9,5%, ізобутану від 1,8 до 8,4%, нормального бутану від 1,5 до 8,5% по об'єму при температурі  $15...20^{\circ}\text{C}$ .



1 - пентан; 2 - ізопентан; 3 - бутилен та ізобутилен;  
4 - бутан; 5 - ізобутан; 6 - пропілен; 7 - пропан.

Рисунок 3 – Залежність щільності скраплених газів від температури

Температура самозапалювання в повітрі при тиску 0,1 МПа (760 мм рт.ст.): пропан 466 °С, ізобутану 462 °С, бутану 405°С. Максимально допустима концентрація в повітрі робочої зони (при перерахунку до вуглецю): пропан 300 мг/м<sup>3</sup>, ненасичені вуглеводні 100 мг/м<sup>3</sup>.

Скраплені гази мають високу детонаційну стійкість. Наприклад, октанове число пропану, визначене моторним методом, дорівнює 96, бутану 90. Однак деякі компоненти газу мають порівняно низькі октанові числа. Так октанове число бутілену 80, а пропілену 85, внаслідок чого їх вміст у скрапленому газі обмежують.

На організм людини токсичність компонентів скраплених газів впливає непрямим чином. Ці гази не викликають безпосереднього отруєння, проте при змішуванні з повітрям зменшують вміст у ньому кисню і цим зумовлюють кисневе голодування людини. Скраплені гази, потрапляючи на тіло людини, викликають обмороження, що нагадує опік.

Для відчуття присутності газу в навколишньому повітрі йому надають специфічний запах, додаючи речовини, що різко пахнуть – **одоранти**. З них найбільш широко застосовують **етилмеркаптан**: 2,5 г на 100 л зрідженого газу. При такому ступені одоризації можна за запахом визначити 0,4...0,5% газу в повітрі. Дана концентрація газу в повітрі невибухонебезпечна, оскільки становить лише 20% нижньої межі займистості.

## ПРИРОДНИЙ ГАЗ

Для двигунів внутрішнього згоряння використовують природний паливний компримований газ. Цей газ одержують із пального природного газу, що транспортується магістральними газопроводами або міськими газовими мережами. На газо-

наповнювальній компресорній станції проводять компримування та видалення домішок за технологією, що не передбачає зміни компонентного складу.

У таблиці 4 наведено фізико-хімічні показники природного газу для двигунів внутрішнього згоряння. Основні компоненти газу: метан та етан. Можливі домішки азоту, кисню, сірководню, парів води та ін.

У систему живлення автомобільних двигунів, що працюють на стиснутому природному газі, входять сталеві балони місткістю 50 л, які розраховані на робочий тиск 19,6 МПа. Температура газу, що заправляється в балон, не повинна перевищувати температури навколишнього повітря більш ніж на 15°C. Газ здатний утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Таблиця 4 – Фізико-хімічні показники природного компримованого газу

Найменування показника	Значення показника
Об'ємна нижча теплота згоряння, кДж/м <sup>3</sup> , не менше	31800
Відносна щільність до повітря	0,55...0,70
Октанове число газу (за моторним методом), не менше	105
Вміст сірководню, г/м <sup>3</sup> не більше	0,02
Вміст меркаптанової сірки, г/м <sup>3</sup> , не більше	0,036
Вміст механічних домішок, мг/м <sup>3</sup> , не більше	1
Сумарна об'ємна частка негорючих компонентів, %, не більше	7
Об'ємна частка кисню, %, не більше	1
Вміст водяної пари, мг/м <sup>3</sup> , не більше	9

Межі займання газу (за метаном) у суміші з повітрям при температурі 20°C та нормальному тиску становлять 5...15% (за обсягом). Гранично допустима концентрація вуглеводнів газу повітря робочої зони має бути не більше 300 мг/м<sup>3</sup> у перерахунку на вуглець, а сірководню – не більше 10 мг/м<sup>3</sup>.

Застосування стиснутих газів, особливо природних, найвигідніше у районах їх видобутку, переробки, поблизу газових магістралей, соціальної та газифікованих містах. Переведення цих газів у рідкий стан в умовах експлуатації автомобілів потребує дуже високих тисків та низьких температур.

На автомобілях найчастіше встановлюються від п'яти до восьми балонів із стисненим газом. Маса восьми балонів становить понад 500 кг, тому потужність автомобіля зменшується. Пробіг такого автомобіля приблизно в два рази менше порівняно з пробігом автомобілів, що працюють на бензині або на скрапленому газі. Це запобігає широкому використанню стисненого газу під час експлуатації газових автомобілів.

Стиснені гази мають підвищену випаровуваність, тому спостерігається їх збільшена втрата. Крім того, вони мають підвищену пожежонебезпеку. Тим не менш, природний газ, перспективно використовувати в рідкому стані. Природний газ – це найдешевше паливо. Його доцільно використовувати в автомобілях з ізотермічними кузовами (рефрижераторами).

При використанні стиснутих газів особливу увагу слід приділяти вмісту вологи, оскільки вона викликає серйозні проблеми в роботі системи живлення.

## ГЕНЕРАТОРНИЙ ГАЗ. БІОГАЗ. СИНТЕЗ-ГАЗ

**Генераторний газ.** Його отримують при переробці твердого палива з недостатністю повітря близько 60% в спеціальних пристроях – газогенераторах. В якості твердого палива використовують кам'яне або буре вугілля, дрова, торф, брикети з різних сільськогосподарських відходів (тирси, соняшникового лушпиння, льняної костри і т.п.). В залежності від виду твердого палива, що використовується для газифікації, склад генераторного газу варіюється в наступних межах: CO – 25...30%, H<sub>2</sub> – 12... 15%, CH<sub>4</sub> – 0,5...3,5%, CO<sub>2</sub> – 5...8%, O<sub>2</sub> – 0,2...0,5%, N<sub>2</sub> – 45...50%.

**Біогаз.** Це метаномісний газ, що утворюється при прискореному отриманні високоякісних органічних добрив, розроблено багато різних конструкцій анаеробних мікробіологічних реакторів для його видобутку. Вміст цетану в біогазі сягає 70%, а теплотворна здатність біогазу становить 20...25 МДж/кг. Біогаз можна використовувати у будь-яких теплових установках, адже зношування двигунів, що працюють на біогазі, менше порівняно із зношуванням двигунів, що працюють на бензині.

**Синтез-газ.** З метою виготовлення палив як сировина може використовуватись синтез-газ (суміш оксиду вуглецю та водню), що утворюється при деяких нафтохімічних процесах. Бензини синтезу потребують подальшої переробки з метою підвищення октанового числа. Дизельна фракція може використовуватись як високоцетановий компонент палива (дизельна фракція має високу температуру застигання, на що необхідно звертати увагу при виготовленні товарного палива).

Гази нафтопереробних та нафтохімічних заводів містять насичені та ненасичені вуглеводні. Методами синтезів таких газів одержують рідкі палива, зокрема, високооктанові компоненти: алкілати, ароматичні вуглеводні, метил-третично-алкілові ефіри (метил-трет-бутиловий з октановим числом 105/М та 118/Д і метил-трет-аміловий з октановим числом 99/М та 112/Д); бензини з октановим числом 81/М та 96/Д, полімер-бензин з октановим числом 82...85/М та 95...98/Д.

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОПОДІБНИХ ПАЛИВ

Газоподібні палива мають деякі переваги перед бензинами і дизельними паливами. Газобалонні автомобілі значно економічніші, ніж базові моделі, що працюють на рідкому паливі, головним чином за рахунок зниження витрати на моторну оливу, збільшення міжремонтного пробігу двигуна та меншої вартості палива.

Збільшення терміну служби моторної оливи в газових двигунах досягається за рахунок відсутності конденсації парів палива на стінках циліндра та у зв'язку з цим відсутності розрідження оливи. Тому термін служби оливи під час роботи двигуна на газі збільшується в 2...4 рази, а термін служби самого двигуна – в 1,5...2 рази.

У газових двигунах не відбувається змивання масляної плівки зі стінок циліндрів та поршнів, кількість нагарів та різних відкладень на стінках камери згорання та у поршневій групі невелика. Внаслідок цього покращуються умови роботи двигуна, знижуються зношування деталей шатунно-поршневої групи.

Газоподібні палива мають високу детонаційну стійкість, внаслідок чого їх можна використовувати в двигунах внутрішнього згорання з високими ступенями стиснення, а отже, і хорошими техніко-економічними показниками. Так, октанові числа, отримані дослідницьким методом, становлять: у етану 116,3; пропану 111,6; бутану 95,8 (див. табл. 1).

Істотна перевага газоподібного палива – незначне забруднення довкілля токсичними компонентами.

При роботі газового двигуна відбувається більш досконале сумішоутворення і повніше згоряння робочої суміші, ніж у бензинових двигунів. Внаслідок цього утворюється дуже невелика кількість продуктів неповного згоряння, які особливо шкідливі для здоров'я людини. Так, продукти згоряння газового двигуна, що працює в режимі холостого ходу, містять у 5 разів менше CO, ніж продукти згоряння бензинового двигуна в тому ж режимі.

Недолік газобалонних автомобілів – ускладнена система паливоподачі. Підвищуються також пожежні вимоги до приміщень під час технічного обслуговування та ремонту газобалонних установок через можливі витoki газу.

У всьому світі парк автомобілів, що працюють на нафтовому та зрідженому природному газі, постійно зростає. Зріджений природний газ можна застосовувати для виробництва екологічно чистих бензинів та дизельного палива з низьким вмістом ароматичних вуглеводнів та твердих частинок. Проте це не завжди економічно виправдано.

У деяких країнах світу налагоджено виробництво двопаливних автомобілів, що працюють як на рідкому, так і газоподібному паливі. Випускають також автомобілі, які використовують водень.

Слід зазначити, що в США, Великій Британії, Німеччині та інших країнах ведуться аналогічні роботи зі створення транспортних засобів на паливних елементах, що працюють на водні.

## **КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Який склад та властивості мають скраплені гази?
2. Розкажіть про стислий природний газ
3. Розкажіть про генераторний газ
4. Розкажіть про біогаз. Як отримують та використовують?
5. Розкажіть про синтез-газ
6. Перерахуйте особливості застосування газоподібних палив.
7. Які основні експлуатаційно-технічні властивості газових палив?
8. Назвіть перспективні екологічно чисті види палива.