

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**Інженерно-
технологічний
факультет
СНАУ**

**ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНІ ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ І СИСТЕМИ
ФІЛЬТРАЦІЇ**

**Конспект лекцій
Частина 1**

СУМИ – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра АГРОІНЖИНІРИНГУ

**ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ
МАТЕРІАЛИ І СИСТЕМИ ФІЛЬТРАЦІЇ**

Конспект лекцій

Частина 1

для здобувачів вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»

СУМИ – 2024

УДК 621.43.019.621.892
М 54

Укладач: С.П. Соколік, ст. викладач кафедри агроінжинірингу
М.Л. Шуляк, професор кафедри агроінжинірингу
Л.М. Батюк, завідувач навчальної лабораторії кафедри агроінжинірингу

Соколік С.П., Шуляк М.Л., Батюк Л.М.

М 54 Науково-методичне забезпечення навчального процесу : Паливно-мастильні та експлуатаційні матеріали і системи фільтрації. Конспект лекцій (Частина 1) для здобувачів вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти – Суми: СНАУ, 2024. – 80 с., табл. 1.

Конспект лекцій (Частина 1) для здобувачів вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти призначений для ознайомлення з: основними показниками ПММ, їх експлуатаційними властивостями

Рецензенти:

Харченко С.О. – професор кафедри агроінжинірингу Сумського НАУ, доктор технічних наук;

Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри технічного сервісу СНАУ

Відповідальний за випуск: Шуляк М.Л., д.т.н., професор, завідувач кафедри агроінжинірингу СНАУ.

Рекомендовано до видання методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 3 від «26» 11 2024 року

© С.П.Соколік
М.Л.Шуляк
Л.М.Батюк
©Сумський
національний аграрний
університет, 2024

Тематичний план

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Вступ. Загальні відомості про паливно-мастильні матеріали с.-г. техніки.	2
2	Тема 3. Види палив, їх властивості та горіння.	2
3	Тема 4. Загальні відомості про отримання рідких палив та олив з нафти.	2
4	Тема 5. Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів з примусовим запалюванням.	2
5	Тема 6. Експлуатаційні властивості та використання стиснутих та скраплених газів	2
6	Тема 7. Експлуатаційні властивості та використання біогазів	2
7	Тема 8. Експлуатаційні властивості та використання дизельного палива.	2
	Разом годин:	14

ЗМІСТ

ЛЕКЦІЯ № 1. Вступ. Загальні відомості про паливно-мастильні матеріали с.-г. техніки.....	5
ЛЕКЦІЯ № 2. Види палив, їх властивості та горіння.	12
ЛЕКЦІЯ 3. Загальні відомості про отримання рідких палив та олив з нафти.	18
ЛЕКЦІЯ 4. Експлуатаційні властивості та використання палив для двигунів з примусовим запалюванням.....	28
ЛЕКЦІЯ 5 Експлуатаційні властивості та використання стиснутих та скраплених газів	38
ЛЕКЦІЯ 6. Експлуатаційні властивості та використання біогазів ...	47
ЛЕКЦІЯ 7. Експлуатаційні властивості та використання дизельного палива.....	69
Список літератури.....	78

ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ АГРОТЕХНІКИ

1. Загальні відомості про паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали.
2. Значення якості ПММ при їх застосуванні у машинах.
3. Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів у народному господарстві.

Ефективність сучасної сільськогосподарської техніки безпосередньо пов'язана з використанням високоякісних експлуатаційних матеріалів, до яких належать палива, масла, пластичні й тверді мастильні матеріали, технічні рідини, гумотехнічні вироби, лакофарбові та антикорозійні матеріали, клеї, герметики та ін. За останні роки нагромаджений великий науковий та практичний досвід з виробництва й застосування цих матеріалів, суттєво змінились їх номенклатура, асортимент і якість. Найочевиднішими є зміни, що відбулись у створенні нових високоефективних сортів палива, мастильних матеріалів і технічних рідин.

Однак досягнення в удосконаленні рівня техніки, продукції нафтопереробної та хімічної промисловостей не спрощують проблеми ефективного використання сучасних експлуатаційних матеріалів. Це відчують спеціалісти у практичній діяльності. Зокрема, їм інколи важко розібратися у термінології, зорієнтуватися в різноманітності марок і властивостей нафтопродуктів, застосовувати на практиці рекомендації у виборі того чи іншого експлуатаційного матеріалу із врахуванням конструктивних особливостей машин і механізмів, їх технічного стану та умов роботи.

У процесі експлуатації та зберігання машин їхні складові одиниці постійно взаємодіють з експлуатаційними матеріалами: паливом, оливами,

мастилами, спеціальними рідинами (гідравлічними, охолодними, гальмовими, амортизаторними, пусковими тощо). Від експлуатаційних властивостей зазначених матеріалів та умов їх використання залежить характер цієї взаємодії: прискорюються або сповільнюються зношування та корозія деталей, змінюються витрати експлуатаційних матеріалів, продуктивність і надійність машин, ефективність їхньої роботи.

З розвитком техніки й двигунобудування збільшується споживання палив, олив, мастил та спеціальних рідин. Як сировину для вироблення палив найширше застосовують природні енергоносії — нафту й газ, що зумовлено передусім їхньою невеликою вартістю, зручністю використання, а також високою теплотою згоряння порівняно з іншими видами палив.

Так, питома теплота згоряння нафтового палива становить 42 МДж/кг, а, наприклад, вугілля — приблизно 33, деревини — 19 МДж/кг.

Нафта й газ належать до невідновлюваних природних ресурсів. На жаль, під час видобування нафти більш як половина її залишається в надрах землі. Нові родовища нафти й газу розташовані у важкодоступних місцях, тому для їх розробки й експлуатації свердловин доводиться залучати величезні матеріальні та людські ресурси.

За прогнозом у перші 20—30 років XXI ст. нафта й газ залишатимуться основними джерелами палив, олив і мастил для двигунів та сировиною для хімічної промисловості.

До замінників нафтових рідких палив належать вуглеводні газоподібні (метан, пропан-бутан), спирти (етанол, метанол), ефіри, водень, що можуть використовуватися і самостійно, і як домішки до рідкого нафтового палива.

Рідкі палива виробляють також із вугілля, сланців, торфу тощо, проте застосування цих палив найближчим часом малоімовірно, оскільки вартість їх велика, а якість, порівняно з нафтовими, — гірша.

Для задоволення потреб України в паливно-мастильних матеріалах (ПММ) потрібно 50...60 млн т нафти й газу, а щороку видобувається приблизно

4 млн т нафти та газу. Ось чому раціональне використання паливно-мастильних матеріалів, економія паливно-енергетичних ресурсів, пошук нових джерел енергії — завдання державної ваги.

Теоретичні та практичні питання раціонального використання нафтопродуктів у народному господарстві вивчає сформована в наш час нова галузь науки і техніки — хіммотологія (від слів «хімія», «мотор» і «логія» (наука)). Хіммотологія — це наука про експлуатаційні властивості, якості і раціональне застосування в техніці палива, масел, мастил і технічних рідин.

Хіммотологія в сільськогосподарському виробництві має вирішувати велике коло інженерних задач, пов'язаних з підбором асортименту палива й мастильних матеріалів, сучасним контролем якості, технічним обґрунтуванням витрат і раціональним режимом використання їх під час транспортування, зберігання і застосування. Все це повинно бути засноване на глибоких знаннях фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей нафтопродуктів, конструкції машин, механізмів та умов їх експлуатації.

Для забезпечення високої економічної роботи сільськогосподарської техніки необхідні високоякісні паливно-мастильні матеріали і технічні рідини, але з оптимальними показниками експлуатаційних властивостей.

Необхідність оптимізації вибору якості паливно-мастильних матеріалів диктується тим, що не завжди високі показники деяких експлуатаційних властивостей забезпечують зменшення витрат ПММ і поліпшення безвідмовності та довговічності роботи техніки. Наприклад, підвищення октанового числа бензину за рахунок додання ароматичних вуглеводів спричинює неповне згоряння палива і як наслідок — нагароутворення та збільшення токсичності відпрацьованих газів, а синтетичні оливи не слід використовувати в нефорсованих або середньо-форсованих двигунах. Тому для раціонального використання ПММ необхідно знати їхні експлуатаційні властивості, а також уміти визначати їхню якість в умовах експлуатації.

Раціональне і економне використання нафтопродуктів під час експлуатації сільськогосподарської техніки в більшості визначається дотриманням вимог правильного виконання технологічних операцій при транспортуванні, зберіганні, видачі нафтопродуктів і заправці ними збірних одиниць і в цілому машини; застосуванням раціональної організації і режимів роботи сільськогосподарської техніки; своєчасним і якісним виконанням технічного обслуговування і ремонту автотракторної техніки та обладнання нафтосховищ, а також зменшенням втрат.

Втрати ПММ поділяють на експлуатаційні і аварійні.

Аварійні втрати виникають при пошкодженнях резервуарів, пожежах, стихійних лихах, коли втрачається зразу велика кількість нафтопродуктів. Такі випадки надзвичайно виняткові і в загальних втратах їх частка нафтопродуктів невелика.

Значна кількість нафтопродуктів втрачається під час експлуатації сільськогосподарської техніки (при розливанні, підтіканні з резервуарів, за рахунок використання не за прямим призначенням, із-за незадовільного технічного стану автотракторної техніки та організації машиновикористання). Ці втрати поділяють на кількісні, якісні та змішані.

Причиною кількісних втрат (зменшення маси) є використання їх не за прямим призначенням; розливання, підтікання при несправному обладнанні; залишки в ємкостях і трубопроводах після зливання; втрати при видаленні відстою, при фільтруванні; перевитрати при порушенні технічного стану сільськогосподарської техніки; перевитрати при порушенні раціональних режимів роботи МТА; неправильного підбору ПММ.

Якісні втрати — це погіршення фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей у результаті змішування різних сортів палив і мастильних матеріалів, обводнення, забруднення, окислення (осмолення).

При змішаних втратах одночасно знижується кількість продукту і погіршуються його властивості. До них відносять випаровування при великих і малих диханнях, при порушенні герметичності, довготривалому зберіганні.

Попередження втрат нафтопродуктів, крім їх економії, має винятково важливе значення і для захисту навколишнього середовища. Витікання тільки 1 г нафтопродукту забруднює 10 м³ води, а вміст 10 г його в 1 м³ води робить її отруйною. Така вода непридатна для вживання, в ній гине риба, вона негативно впливає на рослинність.

Економія ПММ на тракторних роботах. Вартість витрачених нафтопродуктів і затрати на їх перевезення, зберігання і заправку повністю входять у собівартість сільськогосподарської продукції і складають до 20 % всіх затрат на тракторні роботи.

Головним напрямком зменшення витрати палива при використанні МТА є заходи, що забезпечують підвищення їх продуктивності та сприяють кращому використанню часу зміни. Як показує практика до 40...50 % часу зміни витрачається на непродуктивні операції — повороти, переїзди, завантаження матеріалів, очистку робочих органів тощо, на які витрачається паливо. Досвід передових механізаторів показує, що тільки за рахунок правильної організації використання техніки вдається зекономити до 15 % палива. Основні положення такої організації: правильне комплектування агрегатів (вибір раціональної ширини захвату, швидкості руху), підготовка поля до роботи (розбивка на загінки, вибір способу і напрямку руху і поворотів, відбивання поворотних смуг).

Ефективна і економічна за витратою палива робота тракторних двигунів можлива тільки за умови підтримування їх номінального режиму роботи. В середньому при недовантаженні 10 % потужності трактора витрата палива збільшується на 4...5 %. Практика показує, що приблизно половина тракторів на сільськогосподарських операціях працює при 60...70%-му завантаженні.

Найчастіше недовикористання потужності відбувається через незадовільне комплектування МТА.

Витрата палива при експлуатації МТА значно залежить від технічного стану двигуна. Так несправність або неправильне регулювання однієї форсунки збільшує витрату палива, що надходить у двигун.; при відхиленні кута початку вприску палива на $3...5^\circ$ питома витрата палива зростає на 4...8 %. Суттєвий вплив на витрату палива має чистота повітря, що надходить у двигун. Так засмічений повітроочисник призводить до зменшення кількості чистого повітря в циліндрі двигуна, що підвищує витрату палива до 8 % і різко збільшує витрату масла на угар. Тому при експлуатації трактора чи комбайна в умовах сильно запиленого повітря необхідно щоденно чистити повітроочисник.

Витрата ПММ визначається крім того, технічним станом трансмісії і ходової частини трактора чи самохідної сільськогосподарської машини. Так неправильне регулювання і використання мастильних матеріалів з низькими експлуатаційними властивостями (особливо в зимовий період) призводить до перевитрати палива на 15...20 %. В умовах експлуатації найбільш часті причини цього - неправильне регулювання муфти зчеплення, гальм, кута сходження коліс, використання масла підвищеної в'язкості.

Значні втрати нафтопродуктів відбуваються при роботі МТА з несправними або неправильно відрегульованими сільськогосподарськими машинами. Наприклад, при оранці неправильно під'єднаний плуг із затупленими лемешами призводить до перевитрати палива на 20...30 %.

Зниження витрати палива залежить від кваліфікації механізаторів. На тракторах, якими керують трактористи 1...2-го класів (вищої кваліфікації), витрата на 5...15 % менше, ніж у трактористів 3-го класу (нижчої кваліфікації).

З метою економії ПММ при експлуатації слід підтримувати агрегати тракторів, комбайнів й інших сільськогосподарських машин у технічно справному стані, при цьому необхідно:

постійно контролювати стабільність техніко-економічних показників двигунів методами технічної діагностики;

підтримувати необхідний тепловий режим двигунів і використовувати нафтопродукти відповідно до пори року;

своєчасно і в повному обсязі провадити технічне обслуговування машин.

Виконання цих заходів дозволить досягти високої технічної готовності МТП і призведе до економної витрати ПММ.

ЛЕКЦІЯ № 2

ВИДИ ПАЛИВ, ЇХ ВЛАСТИВОСТІ ТА ГОРІННЯ

1. Загальна характеристика і роль паливно-енергетичних ресурсів у сільському господарстві.
2. Призначення, класифікація, властивості та загальний склад палив.
3. Процес сумішоутворення, горіння палив та склад продуктів згоряння

Сучасне сільськогосподарське виробництво потребує використання енергетичних засобів як то: сільськогосподарські машини (мобільні та стаціонарні), трактори, автомобілі, теплові установки тощо, які у свою чергу більш ніж на 90% споживають різні види палив.

Що таке паливо? За визначенням Д.І. Менделєєва, *паливом* називається горюча речовина, яку спалюють для отримання тепла. З точки зору використання не будь-яка речовина, яка має здатність згоряти може бути прийнятою за паливо.

Паливо повинне відповідати певним вимогам, а саме:

- порівняно легко займатися,
- при згорянні виділяти максимальну кількість теплоти,
- бути поширеним у природі та мати відповідну доступність при його добуванні,
- не змінювати певний час свої початкові властивості при транспортуванні та зберіганні,
- не мати у своєму складі токсичних речовин, а при згорянні не виділяти таких.

З точки зору захисту навколишнього середовища, останнє – найважливіше. Найбільш повно, наведеним вище вимогам, відповідають речовини органічного походження, такі як нафта, природні гази, тверді горючі копалини, олії, спирти, ефіри тощо. Загальна класифікація наведена у табл.2.1.

Таблиця 2.1 - Загальна характеристика палива

Паливо		
Агрегатний стан	Походження	
	Природне	Штучне
Тверде	Вугілля, горючі сланці, торф, деревина, відходи сільськогосподарського виробництва.	Кам'яновугільний кокс, деревне вугілля, торф'яний кокс, напівкокс, пилеподібне паливо.
Рідке	Нафта	Бензин, гас, дизельне паливо, смоли сухої перегонки твердого палива, бензол, спирти, олії.
Газоподібне	Гази природні, гази попутні нафтових свердловин.	Світильний, коксовий, крекінговий, генераторний, водяний, змішані гази нафтопереробних заводів.

У сільському господарстві використовують усі види палива. Будь-яке паливо складається з двох основних частин: горючої та негорючої. До *горючої* частини палива входять елементи органічний сполук, а саме:

вуглець (C) – 50...98%

водень (H) – до 25%

сірка (S) – 0,01...8%

кисень (O) – 0,5...43%

азот (N) – 0,5...1,5%.

До горючої частини також входять неорганічні сполуки, які розкладаються під час горіння. Основу будь-якого палива звичайно складає вуглець, але водень має питому теплоту згоряння майже в 4 рази більше ніж

вуглець. Кисень не горить, але підтримує процес горіння. Зі збільшенням вмісту кисню теплова цінність палива знижується. Азот також не горить і являє собою внутрішній баласт горючої частини палива. Сірка горить і виділяє тепло, але у паливі її присутність небажана, оскільки при згорянні утворюються сполуки SO_2 та SO_3 , які викликають активну газову корозію, а також при з'єднанні з водою, утворюють сірчисту та сірчану кислоти, які у свою чергу викликають рідинну корозію.

Негорюча частина палива являє собою мінеральні домішки, які при згорянні утворюють золу (попіл) A та вологу W . Звичайно, мінеральних домішок у твердому паливі значно більше (десятки відсотків) ніж у рідинному (десяті долі відсотків). Зола (A) знижує теплову цінність палива, а також призводить до інтенсивного абразивного зношування тертьових поверхонь металевих деталей. Волога (W) відбирає частину тепла на перетворення у пар, тим самим знижує температуру горіння палива.

При згорянні палива у ДВЗ волога з'єднується з сірчистими сполуками і утворює кислоти.

Мінеральні домішки і волога потрапляють до палива при його добуванні, транспортуванні, переробці тощо, та входять у його хімічний склад.

В цілому, цінність палива залежить від складу, як горючої так і негорючої його частин. Елементний склад робочого палива представляють у вигляді рівняння:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\%$$

За «**робоче**» приймають паливо, яке використовується у природному стані та має у своєму складі як горючі так і негорючі частини.

До **горючої частини** газоподібного палива входять:

- водень (H);
- оксид вуглецю (CO);
- метан (CH_4);
- інші вуглеводні з числом атомів вуглецю ($n = \text{до } 4$) $C_n H_m$.

Негорюча частина включає в себе:

- гази – CO_2 , N_2 , O_2 ;
- пар води – H_2O .

Оцінюючи якість палива, в першу чергу, визначають його теплову цінність, тобто кількість теплової енергії, що міститься в одиниці його маси або одиниці об'єму. Такий показник має назву «питома теплота згоряння» і оцінюється для рідких та твердих палив у кДж/кг. Для газоподібних палив використовують показник **об'ємної теплоти згоряння** – кількість теплоти, яке виділяється при повному згорянні одиниці об'єму (кДж/м³), а також показник теплоти згоряння – кількість теплоти, яка виділяється при повному згорянні одного моля газу (кДж/моль).

Теоретично, теплоту згоряння можна визначити знаючи елементний склад палива, використовуючи залежність Д.І.Менделєєва (для рідких та твердих палив).

$$Q_B = 339 C + 1256 H - 109 (O - S). \text{ кДж/кг.}$$

$$Q_H = Q_B - 25 (9H + W) = 339 C + 1030 H - 109 (O - S) - 25 W ,$$

де: C, H, O, S, W – склад хімічних елементів за масою в %.

Q_B – **вища**, або робоча теплота згоряння палива, тобто теплота отримана в практичних умовах;

Q_H – **нижча** теплота згоряння – кількість теплоти, яка витрачається на перетворення в пар вологи, що виділяється при згорянні палива та виноситься в атмосферу із продуктами згоряння.

Теплоту згоряння газоподібного палива визначають за формулами:

$$Q_B = 128 (\text{CO} + \text{H}_2) + 339 \text{CH}_4 + 639 \text{C}_n\text{H}_m, \text{ кДж/м}^3;$$

$$Q_H = 128 \text{CO} + 108 \text{H}_2 + 356 \text{CH}_4 + 589 \text{C}_n\text{H}_m, \text{ кДж/м}^3$$

де: CO, H₂, CH₄, C_nH_m – хімічний склад газоподібного палива за об'ємом у % за нормальних умов (t = 0°C; P = 760 мм.рт.ст.).

На практиці теплоту згоряння визначають спалюванням палива в калориметрах (спеціальних установках), а кількість оцінюють за підвищенням температури води.

Для відносного порівняння теплової цінності різних палив користуються терміном – **умовне паливо**, за одиницю якого прийнято таке паливо, при повному згорянні якого (1 кг або 1 м³) виділяється 29307 кДж енергії.

Фактичне паливо в умовне переводять за допомогою теплових (калорійних) еквівалентів (Е).

$$E = \frac{Q^P}{29307} ;$$

При необхідності перерахування фактичного палива в умовне потрібно теплоту згоряння помножити на його тепловий еквівалент. Значення теплових еквівалентів різних палива зведені до **табл.2.2**

Таблиця 2.2 - Значення теплових еквівалентів палив

Паливо	Q, кДж/кг	Тепловий еквівалент, (Е)
Умовне паливо	29307	1,00
Кам'яне вугілля	29310	1,00
Антрацит	30230	1,03
Буре вугілля	14235	0,49
Торф	13440	0,46
Деревина	12500	0,43
Нафта	41867	1,43
Бензин	44000	1,50
Керосин	43200	1,47
Дизельне паливо	42600	1,45
Мазут	41150	1,40
Природний газ	35586	1,21
Зріджений газ	46000	1,57

Процес згоряння палива можливий лише у присутності окислювача, тобто кисню. Теоретично, при розрахунках для визначення кількості кисню для повного згоряння одиниці палива (O_T) користуються формулою:

$$O_T = \frac{2.67C + 8H + S - O}{100}, \text{ кг}$$

В реальних умовах при згорянні палива, звичайно використовується не чистий кисень, а повітря в якому міститься 23,2 % кисню. В такому випадку теоретичну кількість повітря (L_T) визначають за формулою:

$$L_T = \frac{2.67 + 8H + S - O}{23.2}, \text{ кг}$$

Відношення дійсної витрати повітря до теоретично необхідної для спалювання 1 кг (1м^3) палива називають - *коефіцієнтом надлишку повітря* (α),

$$\alpha = \frac{L_{\partial}}{L_T};$$

При згорянні паливно-повітряної суміші у двигунах внутрішнього згоряння враховують коефіцієнт надлишку повітря (α):

$\alpha=1$ – нормальна суміш;

$\alpha>1$ – бідна суміш;

$\alpha<1$ – багата суміш.

При відхиленні від «норми» ($\alpha \neq 1$) паливно-повітряна суміш повністю не згоряє, відповідно знижуються експлуатаційні показники двигуна. Повноту згоряння паливної суміші визначають різними методами. Найбільш розповсюджені хімічні методи. За допомогою газоаналізаторів, які працюють за принципом поглинання хімічними розчинами деяких складових елементів відпрацьованого газу визначають відсотковий вміст, наприклад, CO, CH, H₂. Відсутність у відпрацьованих газах CO говорить про повне згоряння палива, а наявність, відповідно, про - неповне.

ЛЕКЦІЯ 3

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОТРИМАННЯ РІДКИХ ПАЛИВ ТА ОЛИВ

1. Нафта - основна сировина для отримання рідких палив та олив.
2. Сучасні методи виробництва нафтопродуктів.
3. Сучасні способи очистки палив та олив.
4. Характеристика загальних фізико-хімічних показників нафтопродуктів.

В сучасному виробництві паливно-мастильних матеріалів, нафта як сировина, займає основне місце. **Нафта** – це рідина, від жовтого до темно-коричневого кольору. Питання про походження нафти залишаються досі відкритими. Більша частина дослідників все-таки схильна до органічної (біогенної) гіпотези походження нафти. Таку ідею вперше висловив М.В.Ломоносов, згідно якій нафта утворилася в осадових породах земної кори, з органічних залишків рослин і тварин, які під дією тепла і тиску в присутності природних каталізаторів підлягали складним перетворенням. Нафта, як рідина накопичувалася в порожнинах та великих тріщинах з яких по свердловинах викачують її на поверхню. В залежності від складу густина нафти коливається від 0,810 до 0,980 г/см³, також зустрічаються дуже легкі (до 0,730 г/см³).

Різні нафти в різних родовищах пояснюються різною материнською органічною речовиною та неоднаковими умовами нафтоутворення. Цінність нафти різних родовищ зумовлює її елементний та груповий хімічний склад. Хімічний склад нафти - це вміст в ній окремих хімічних елементів виражених у відсотках за масою. Приблизно склад нафти має вигляд:

Вуглець –	83...87%
Водень –	12...14%
Кисень –	0,1...1,3%
Сірка -	0,1...5,8
Азот –	0,02...1,8%

Основні складові (вуглець і водень) знаходяться у нафті у зв'язаному стані у вигляді різних вуглеводневих сполук (C_nH_m). З точки зору групового хімічного складу нафта являє собою суміш різних вуглеводнів, сірчастих, кисневих та азотних з'єднань. Хімічні групи вуглеводнів характеризуються перш за все кількісним співвідношенням атомів вуглецю і водню. Таке співвідношення відповідно до назви виражають у вигляді емпіричної формули. До складу нафти входять 3 класи вуглеводнів: парафінові (алкани), нафтеніві (циклани), ароматичні (арени).

Парафінові вуглеводні. Загальна емпірична формула C_nH_{2n+2} , де n – число атомів вуглецю. В залежності від родовища вміст парафінів у нафті сягає 25...30%. В залежності від числа атомів вуглецю парафінові вуглеводні можуть бути у вигляді:

газу – $n =$ від 1...4 од., рідини - $n =$ від 5...15 од., твердої речовини - n більше 15 од..

З точки зору експлуатаційних властивостей нафтопродуктів вуглеводнів різних класів відрізняються між собою. Парафінові вуглеводні мають найбільшу масову теплоту згоряння (за рахунок найбільшої кількості водневих атомів), хімічно стабільні при нормальних умовах але при високих температурах n - парафіни швидко окислюються, що призводить до зниження антидетонаційних властивостей бензину. Ізопарафіни здатні підвищувати октанове число бензину. Присутність n -парафіни в дизельних паливах та оливах погіршує їх низькотемпературні властивості. Ізопарафіни мають кращі низькотемпературні властивості в порівнянні з n -парафінами.

Нафтеніві вуглеводні. (C_nH_{2n}). Вміст у різних нафтах – 20...30%. В порівнянні з парафінами:

1. теплота згоряння дещо менша (менша кількість атомів водню в молекулі);
2. більш високе октанове число;

3. температура плавлення набагато нижча (цінне явище при використанні цикланів для виробництва зимових дизельних палив);

4. цетанове число нижче ніж у парафінів;

5. циклани призводять до значного набухання звичайної гуми;

6. більш високі низькотемпературні властивості, що зумовлює отримання, наприклад, моторних олив з високим індексом в'язкості (при виробництві всесезонних олив).

Нафтові вуглеводні є основною складовою моторних олив.

Ароматичні вуглеводні. Загальна емпірична формула - C_nH_{2n-x} , де x – не менше 6. вміст аренів у різних нафтах – 10...50%.

Характеристика аренів.

1. висока стійкість до окислення, як при звичайних температурах так і при високих;

2. високі антидетонаційні властивості (найвищі у порівнянні з алканами і цикланами);

3. більш високі у порівнянні з двома іншими: - кінематична в'язкість, густина, температура кипіння;

4. при зниженні температури в'язкість аренів різко збільшується.

Також арени дуже схильні до нагароутворення. Це обмежує їх вміст в бензинах до 40...50%, хоча, як вже відмічено мають найвищі антидетонаційні властивості.

Переробка нафти з метою отримання ПММ – складний технологічний процес. Сучасні нафтопереробні заводи мають можливість виробляти не тільки ПММ, а й нафтохімічну сировину. Для виробництва ПММ із нафти існують два способи: фізичний (первинний, або пряма перегонка); хімічний (вторинний, або деструктивна переробка).

При фізичному розділенні нафти структура молекул вуглеводнів залишається без змін. При деструктивній переробці – вуглеводний склад

нафтопродуктів значно відрізняється від складу нафти (сировини). До фізичних способів переробки нафти відносять: електрознесолуючі установки (ЕЛОУ) і пряму перегонку на атмосферно-вакуумних установках (АВТ).

На рис.3.1 приведена схема атмосферно-вакуумної нафтоперегінної установки. У цій установці нафта розділяється на паливні, а мазут на масляні дистиляти. Нафта подається насосом 7 під тиском 1мПа через теплообмінники дистилятів 6 в колону 8, а потім легкокипляча (газоподібна) частина нафти поступає в ректифікаційну колону, а основна – в трубчасту піч 1, де нагрівається до температури $330...350^{\circ}\text{C}$ і надходить до ректифікаційної колони 2. В ректифікаційній колоні пари нафти розділяються на фракції: бензинові ($35...200^{\circ}\text{C}$); лігроїнові ($110...230^{\circ}\text{C}$); газові ($140...300^{\circ}\text{C}$); газойлеві ($230...330^{\circ}\text{C}$); соляркові ($280...380^{\circ}\text{C}$). На виході продуктами прямої перегонки є: вуглеводневий газ, бензинова, газова, дизельна фракції та залишок (мазут), який у подальшому використовується як сировина для отримання масляних дистилятів. Мазут проходить через трубчасту піч 9, де нагрівається до $420...430^{\circ}\text{C}$. В ректифікаційній колоні 5 відбувається розділення на масляні дистиляти (сировину для виробництва різних олив). Важкий залишок гудрон, напівгудрон використовують для виготовлення високов'язких масел.

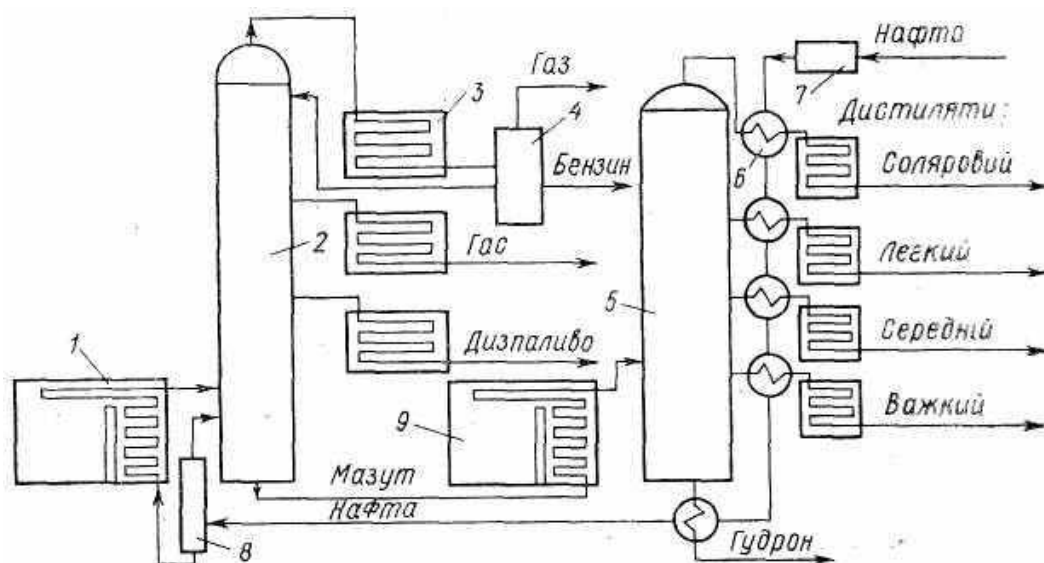


Рис.3.1- Схема нафтоперегінної установки:

1 — трубчаста піч; 2 і 5 - ректифікаційні колони; 3 — холодильники; 4 - конденсатор-газовіддільник; 6 — теплообмінник; 7 — насос; 8 — випарювальна колона; 9 — вакуумна трубчаста піч

При прямій перегонці з нафти отримують від 9...20% бензинових фракцій. З метою збільшення виходу паливних фракцій використовують хімічні (деструктивні способи), які засновані на розчепленні важких молекул вуглеводнів на більш легкі. Такий процес називається крекінг-процесом. Вихід паливних фракцій при крекінгах досягає 50...60%.

В сучасному виробництві використовують декілька видів крекінгів: термічний, каталітичний, гідрокрекінг, каталітичний риформінг.

Термічний крекінг. Під дією високої температури (470...540⁰ С та тиску 2...7 МПа) відбувається розчеплення важких вуглеводнів та змінюється їх структура. При цьому сировиною є мазут, гудрон, важкий газойль. Вихід з мазуту бензинових фракцій сягає 25...30%, газу - до 10%, гасу і газойлю – до 30%. З газойлю можна отримати до 60% бензину.

Основним недоліком термічного крекінгу є низька стабільність нафтопродуктів в наслідок значного вмісту ненасичених вуглеводнів. З метою стабілізації крекінг-продуктів до них додають 0,01% стабілізаторів, таких як нафтол, параоксидифеніламін.

Каталітичний крекінг – відноситься до основних сучасних способів отримання високоякісного бензину з важких вуглеводнів. Технологічний процес проходить при температурі 450...550⁰ С, Р=0,1...0,3МПа в присутності каталізаторів. В якості каталізаторів використовують речовини, які мають пористу поверхню з дуже високою активністю (1г має близько 400...500 м² активної поверхні). Такими характеристиками володіють цеоліти, алюмосилікати та ін. В умовах каталітичного крекінгу високомолекулярні вуглеводні розщеплюються і проходячи через активну поверхню каталізатора переходять в іншу структуру – ізомерну. Вихід бензинових фракцій до 50%,

дизельного палива 30...40%. Октанове число бензинів каталітичного крекінгу 78...85 од. за моторним методом. Основною сировиною є вакуумні дистиляти та гасово-газойлеві фракції прямої перегонки. До переваг каталітичного крекінгу можна віднести:

1. перехід нестійких ненасичених вуглеводнів в ізомерну структур;
2. значно менша кількість звичайних ненасичених вуглеводнів.

Гідрокрекінг - це різновидність каталітичного крекінгу. В основному використовують для виробництва світлих нафтопродуктів: бензину, гасу, дизельного палива. Процес проходить при температурі 360...440⁰ С, тиску – 15...17 мПа у присутності каталізаторів (алюмокобальтомолібденовий або алюмонікельмолібденовий) та водню.

Продукти розщеплення високомолекулярних вуглеводнів насичуються воднем, стабілізуються та підвищуються їх енергетична цінність. Сировина – газойль, нафтовий залишок (більш важкі вуглеводні). Октанове число вихідних бензинів дещо менше за каталітичний крекінг (ОЧИ = 85...88 од.).

Каталітичний риформінг – це процес технологічного покращення якості бензинів прямої перегонки, а саме: підвищення антидетонаційних властивостей. Вихідним продуктом є бензини з високим октановим числом – 93...98 од. (ОЧИ). Процес проходить при $t = 470...530^0$ С та $P=2...4$ мПа в середовищі водню. В залежності від виду каталізатора риформінг розділяють на гідроформінг (молібденовий) та платформінг (платиновий каталізатор).

Крім розглянутих, у промисловості використовуються технології переробки супутніх газів та газів нафтопереробних заводів з метою отримання палив та їх компонентів. Такі технології отримали назву: алкілування, полімеризація, ізомеризація тощо. Після основної обробки нафти з метою отримання товарних ПММ напівпродукт проходить очистку від небажаних

сполук, а саме – кисневих, сірчистих, азотних, а також смолистих речовин і ненасичених вуглеводнів.

Всі способи очистки поділяють на фізичні та хімічні. Фізичні способи засновані на змішуванні нафтопродуктів з розчинниками з подальшим відстоюванням і фільтрацією або відокремленням небажаних компонентів (сполук) за допомогою адсорбентів. При хімічній очистці небажані сполуки вступають в реакцію із сірчаною кислотою, лугами, пломбітами і хлоридами металів з подальшим їх видаленням.

Кислотна очистка полягає в обробці нафтопродуктів 96...98 відсотковим розчином сірчаної кислоти. Реагуючи з кислотою асфальто-смолисті речовини та нафтенові кислоти утворюють продукти, що осідають. Розрізняють кислотну-лужну та кислотну-контактну очистку. При кислотну-лужній очистці, після реакції з кислотою напівфабрикат нейтралізують лугом NaOH і висушуванням гарячим повітрям. Недоліком цього способу є те, що при змішування з водою утворюються стійкі емульсії, які важко руйнуються та відбувається гідроліз солі. В деяких випадках використовують кислотну-контактну очистку, при якій видаляють смолисті речовини та ненасичені вуглеводні. Очистка полягає в послідовній обробці напівфабрикату сірчаною кислотою та відбілювальними землями (адсорбентами). Для підвищення ефективності кислотну очистку нафтопродукту проводять у розчині пропану. Пропан зменшує в'язкість нафтопродуктів і розчинність у них смолисто-асфальтових речовин, що значно підвищує ефективність кислотної очистки. При обробці кислотою відбувається «освітлення» нафтопродукту за рахунок видалення смолистих речовин, покращуються в'язкісно-температурні властивості, підвищуються температура спалаху парів та горіння, зменшується коксівність нафтопродуктів.

Лужна очистка – полягає у нейтралізації кислих сполук з утворенням нерозчинних в вуглеводнях або водорозчинних нейтральних сполук. Для лужної очистки використовують 10 відсотковий водний розчин їдкого натру. У

подальшому нафтопродукт промивають водою і просушують перегрітим паром до повного видалення кислот та лугів.

Селективна очистка – заснована на відбірковій розчинній здатності деяких органічних рідин по відношенню до різних вуглеводнів нафтопродуктів. Цей спосіб найбільш ефективний для відокремлення небажаних ароматичних та асфальтових компонентів, що дозволяє отримати нафтопродукти з кращими показниками по в'язкості ат стабільності. Також значно знижується схильність до утворення твердих відкладень деталях циліндрів поршневої групи двигуна. Як розчинник застосовують рідкий пропан, фенол, нітробензол, фурфурол та ін.

Гідроочистка – використовується для видалення сірчистих, азотних та кисневих сполук. Процес проходить в присутності водню та каталізаторів (суміші оксидів хрому і молібдену; алюмосилікату, кобальту і молібдену) при температурі 370...400⁰ С та тиску 2...7 мПа. Гідроочистку використовують для отримання нафтопродуктів вищої якості. Поширений спосіб очистки моторних олів та дизельних палив

Адсорбційна очистка (контактна очистка, очистка вибілювальними землями) заснована на властивостях деяких мінеральних речовин (адсорбентів) після відповідної обробки адсорбціювати небажані домішки нафтопродуктах. При цьому виділяють смоли нафтові кислоти, кисневі сполуки, сульфокислоти, залишки мінеральної кислоти та селективних розчинників. В якості адсорбентів застосовують природну глину, силікагель, синтетичні алюмокислоти, активований окис алюмінію та ін.. Оскільки в основному виділяються речовини, які зумовлюють темний клір нафтопродуктів то адсорбційна очистка отримала назву очистка вибілювальними землями.

При значних обсягах робіт та великій кількості небажаних сполук економічно недоцільно використовувати адсорбційну очистку як основну. В таких випадках цей спосіб застосовують, як завершальний найчастіше після сірчаноокислотної очистки.

Депарафінізація – застосовується для видалення вуглеводнів з високими температурами застигання, в основному парафінів. Існують декілька депарафінізацій, а саме: «пряме» зниження температури (виморожування) та застосування розчинників. Всі способи депарафінізації об'єднує те, що в кінці-кінців використовується середовище з низькою температурою, для кристалізації парафінів з подальшим їх видаленням. При виморожуванні нафтопродукт охолоджують до температури нижче за температуру застигання парафінів з подальшим їх видаленням у вигляді кристалів на фільтрах. Недоліком цього методу є значні енергетичні витрати на зниження температури нафтопродукту. Найбільш економічно доцільний спосіб – використання розчинників (рідкий пропан, ацетон з бензолом, дихлоретан з бензином та ін.). Нафтопродукт змішують з рідким пропаном під тиском 1,2...1,4 МПа достатнім для підтримання пропану в рідкому стані (за таких умов t кипіння пропану вища 27°C). після змішування тиск знижують забезпечуючи при цьому (за рахунок часткового випаровування пропану) самоохолодження розчину до необхідної температури. В подальшому пропановий розчин з нафтопродуктом та кристалами парафінів фільтрують, відокремлюючи тверду фазу. Депарафінізації застосовують для отримання зимових сортів олив та дизельних палив.

Деасфальтизація – цей спосіб застосовують тоді, коли економічно недоцільні інші способи видалення смолистих речовин. Суть деасфальтизації – сировина розчиняється у легкому бензині або легкому пропані. Смолисто-асфальтові сполуки в цих розчинниках майже не розчиняються і випадають в осад. До перспективних методів фракціювання нафтопродуктів та видалення з них небажаних домішок можна віднести – ультрафільтрування. У якості фільтрів використовують високоякісні мембранні з полімерних матеріалів (ацетилцелюлоза, поліамід, графіт, пористе скло та інше).

Відповідно до нормативно-технічної документації всі нафтопродукти повинні відповідати певним вимогам. До загальних експлуатаційних

характеристик відносять: фізичну та хімічну стабільність нафтопродуктів, наявність механічних домішок і води, фактичних смол, сірчастих сполук, органічних кислот, водорозчинних кислот та лугів, корозійні властивості та інші. Крім того, товарні нафтопродукти повинні бути сертифіковані відповідно до встановлених показників, таких як: октанове число, фракційний склад, цетанове число, тиск насиченого пару, температура помутніння, застигання (для палив), та кінематична в'язкість наявність та кількість присадок, температура спалаху (для олив) та ін..

ЛЕКЦІЯ 4

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВ ДЛЯ ДВИГУНІВ З ПРИМУСОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

1. Експлуатаційні властивості, маркування та застосування бензинів.
2. Експлуатаційні властивості, маркування та застосування стиснутих та скраплених газів.
3. Експлуатаційні властивості та застосування біогазів

Бензин – це складна суміш – легких ароматичних, нафтових, парафінових вуглеводнів та їх похідних з числом атомів вуглецю від 5...10 з середньою молекулярною масою - близько 100. Температура кипіння 35..205⁰ С, тобто бензини не мають сталої температури кипіння. Середня хімічна формула бензинів – C_8H_{18} .

Бензини – легколетючі рідини, температура спалаху нижча

(-40⁰ С), застигання – (-60⁰ С), в'язкість вдвічі менша за воду. Розчинність води у бензині складає близько 0,04 кг/м³, кисню – $(5,3...5,5) \cdot 10^{-6}$ м³/кг, питомий опір - $(3...8) \cdot 10^{10}$ Ом*м, питома теплоємність – 2,0...2,8 кДж/кг*⁰С, теплопровідність – 0,11 Дж/мс*⁰С (при 100⁰С), теплота випаровування – 234...270 кДж/кг.

Основну кількість бензину отримують з нафти прямою перегонкою та за допомогою крекінг-процесів.

В сільському господарстві бензини використовують, як паливо для вантажних та легкових автомобілів, а у промисловості в якості розчинників різних речовин та їх складових. Для забезпечення високих експлуатаційних показників ДВЗ бензини повинні відповідати певним жорстким вимогам, а саме:

- мати відповідно високу теплоту згоряння;
- високі карбюраційні властивості;
- високу антидетонаційну стійкість;

- мати достатню фізичну та хімічну стабільність, як при зберіганні так і при транспортуванні;
- мати високі антикорозійні властивості;
- якомога повніше згоряти з утворенням мінімальної кількості токсичних та канцерогенних речовин та ін.

Відповідно до технічно-нормативної документації (ДСТУ 7687:2015) промисловість України виробляє бензини марок: А-98, А-95, А-92, А-80.

Авіаційні бензини маркуються дещо по-іншому – Б-70, Б-100/130, Б-93/130, Б-91/115. Літера «Б» - бензин авіаційний; 70, 100, 93, 91 – октанове число, визначене моторним методом.; 130, 115 – сортність бензину.

За рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи бензинів: Євро5, Євро4, Євро3.

Примітка. Кінцевий термін введення в обіг бензинів певного екологічного класу — згідно з Технічним регламентом.

За вмістом біоетанолу встановлено такі види бензинів:

- Е5 — не більше ніж 5 %;
- Е7 — понад 5 % та не більше ніж 7 %;
- Е10 — понад 7 % та не більше ніж 10 %.

Умовна позначка бензинів

Умовна позначка бензинів має містити:

- позначення марки (А-98, А-95, А-92, А-80);
- символ екологічного класу (Євро5, Євро4, Євро3);
- символ виду бензину за вмістом біоетанолу (Е5, Е7, Е10).

Приклад позначки бензину марки А-95 екологічного класу Євро4 з вмістом біоетанолу понад 5 %

та не більше ніж 7 %:

«Бензин автомобільний А-95-Євро4-Е7 згідно з ДСТУ 7687:2015».

Позначка бензинів може містити торгову марку (товарний знак) виробника.

Приклад позначки бензину торгової марки «XXX» марки А-98 екологічного класу Євро5 з вмістом

біоетанолу понад 7 % та не більше ніж 10 %:

«Бензин автомобільний XXX-А-98-Євро5-Е10 згідно з ДСТУ 7687:2015».

Властивість бензину протистояти детонаційному згорянню оцінюється октановим числом (ОЧ). Октанове число дорівнює процентному (за об'ємом) вмісту ізооктану в такій суміші з н-гептаном, яка рівноцінна за антидетонаційними властивостями даному паливу, при стандартних умовах випробовування. Наприклад, октанове число бензину дорівнює 76 од. Це означає, що його детонаційна стійкість відповідає стійкості суміші, яка складається із 76% ізооктану та 24% н-гептану. Детонаційну стійкість бензинів визначають двома методами: моторним та дослідним. Значення октанового числа бензину визначеного моторним методом буде менше на 6...8 од. по відношенню до дослідного методу. Це пояснюється тим, що експлуатаційні умови визначення ОЧ при моторному методі більш жорсткі ніж при дослідному (Табл.1).

Таблиця 4.1- Технічні умови визначення октанового числа на установці УИТ-65

Показник	ОЧМ	ОЧД
Двигун (УИТ-65)	Одноциліндровий зі змінним ступенем стиску	
Частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹	900 ± 10	600 ± 10
Температура, °С		
- в системі охолодження	100 ± 2	100 ± 2
- повітря	40...50	52 ± 2
- пальної суміші	140 ± 1	не підігрівається
- моторного масла	50...75	50...75
Кут випередження запалювання	змінний: 26° до ВМТ при ε = 5 19° до ВМТ при ε = 7	Постійний: 13° до ВМТ
Склад пальної суміші	відповідає найбільшій детонації	

Значний вплив на процес згоряння пальної суміші мають конструктивні параметри ДВЗ, експлуатаційні фактори, хімічний склад та молекулярна маса елементів палива. До конструктивних параметрів відносять: ступінь стиску (ϵ), діаметр циліндрів ($D_{ц}$), кількість та розташування свічок запалювання, матеріал ЦПГ та ін.

Знаючи деякі конструктивні параметри двигуна можна визначити ОЧ бензину, яке необхідне для бездетонаційного згоряння.

$$ОЧ = 125,4 - 413/\epsilon + 0,183 D_{ц}.$$

До основних експлуатаційних факторів відносяться: кут випередження запалювання, частота обертання колінчастого валу, коефіцієнт надлишку повітря, тепловий режим двигуна, ступінь завантаження двигуна, ступінь нагароутворення на деталях ЦПГ.

Максимальна швидкість протікання процесу згоряння (окислення) проходить при $\alpha = 0,9 \dots 1,1$, тобто вірогідність виникнення детонації найвища. При збідненні горючої суміші частина тепла витрачається на підігрів зайвого повітря, що знижує загальну температуру суміші.

При збагаченні – зменшується кількість кисню, відповідно зменшується інтенсивність утворення перексидів, які призводять до детонації. При «нормальному» згорянні пальної суміші швидкість розповсюдження фронту полум'я в камері згоряння сягає 25...35 м/сек. При детонаційному – 1500...2500 м/сек. При детонаційному згорянні двигун перегрівається, працює жорстко і нестійко, його потужність зменшується, а витрати бензину збільшуються.

При тривалій роботі двигуна з детонацією можливе прогорання поршнів, клапанів, пошкодження інших деталей КШМ, внаслідок підвищення температури (до 3000° С) та стрибкоподібного наростання тиску.

Існують три основних методи отримання високооктанових бензинів: технологічний, використання високооктанових компонентів, введення антидетонаторів.

Каталітичний крекінг або риформінг дозволяє отримати бензини з ОЧ на рівні 75...85 од.(технологічний метод). Звичайно, простіше отримати високооктанові бензини змішуванням низькооктанових бензинів із високооктановими компонентами – ізооктаном (ОЧ = 100), алкілбензином (ОЧ = 100), бензолом (ОЧ = 108).

Найбільш ефективно та економічно вигідно – введення антидетонаторів: тетраетилсвинець (ТЕС), Рв $(C_2H_5)_4$, тетраметилсвинець, марганцевий антидетонатор (ЦТМ). Тетраетилсвинець ефективніший за бензол в 600 разів. Склад етилової рідини: ТЕС – 54...58%, бром – 40%, барвники – 0,5%, наповнювач (бензин Б-70) - 5...6%.

Механізм дії антидетонаторів (зокрема ТЕС) пояснюється пероксидною теорією детонації і ланцюгових реакцій. При температурі 500...600° С ТЕС повністю розкладається на свинець та етильні радикали. Свинець, що утворився окислюється з утворенням діоксиду свинцю, який вступає в реакцію з пероксидами і руйнує їх. Використання ТЕС пов'язане з високою токсичністю відпрацьованих газів.

Більш безпечно використання метил-трет-бутилового ефіру (МБТЕ) $C_5H_{12}O$, а також бутилового спирту. МБТЕ нетоксичний, корозійно неактивний, суттєво підвищує октанове число «головних» фракцій бензину та ін. До найважливіших експлуатаційних показників бензинів відносять фракційний склад – це залежність між кількісним вмістом фракцій палива (у % за об'ємом) та температурою їх википання. Температура початку кипіння бензинів – 35°С, а кінець – 195...205° С. Від фракційного складу залежить: легкість пуску холодного двигуна, час його прогріву, прийомистість, інтенсивність спрацювання ЦПГ, витрата палива і моторного масла, токсичність відпрацьованих газів. Фракції бензину поділяють на пускові, робочі (головні), кінцеві (хвостові). Перші фракції (пускові) – об'єм від 0...10% - відповідають за легкість пуску, час прогріву двигуна та вірогідність утворення парових пробок у системі живлення.

Фракції, які випаровуються від 10...90% загального об'єму (робочі) безпосередньо відповідають за прийомистість двигуна та повноту згоряння палива. Кінцеві фракції (90%...кінець кипіння) характеризують інтенсивність зношування ЦПГ, витрату палива, токсичність відпрацьованих газів.

Основними складовими горючих газів є вуглеводні з кількістю вуглецевих атомів у молекулі від 1 до 4. до таких газів відносяться метан (CH_4), етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) та їх похідні. Газоподібне паливо поділяють на *природне* – використовується у такому вигляді, у якому воно знаходиться у надрах землі (природний газ газових родовищ і супутний) і *штучне* – гази, які отримують як побічний продукт при переробці нафти і твердого палива, або спеціально за допомогою газогенераторів (доменний, коксовий, генераторний та ін.). За фізичним станом гази можуть бути *стиснуті* і *зріджені*.

Стиснутими називають гази, які мають критичну температуру нижче за температуру їх використання. В ДВЗ використовують їх у стиснутому стані ($P=20\text{МПа}$). Зрідженими називають гази, критична температура яких вище за температуру їх використання. Для ДВЗ використовують при $P=1,5...2\text{ МПа}$ у зрідженому стані. За допомогою спеціальних пристроїв (понижуючих редукторів) тиск знижується, переводять паливо у газоподібний стан, змішують з повітрям і подають безпосередньо у камеру згоряння двигуна. За *критичну* прийнята найбільша температура, за якої можливе існування рідини у стані рівноваги з паром.

Гази можна перевести у зріджений стан тільки охолодженням його до температури, яка нижча за критичну. Як паливо для ДВЗ так і для побутових потреб найбільш поширені природні гази, які поділяють на гази чисто газових родовищ і супутні, які отримують при добуванні нафти. Основними складовими природного газу, газових родовищ є: метан – 82...98%, етан – до 6%, пропан – до 1,5% і бутан до 1%. Супутний нафтовий газ включає в себе:

метан – 40...85%, етан - до 20%, пропан - до 20%. В залежності від виду газів та їх складу змінюються властивості стиснутих газів (табл.2).

Таблиця 4.2 - Властивості стиснутих газів

Гази	Теплота згоряння, мДж/м ³	Октанове число за моторним методом	Бензиновий еквівалент, кг/м ³
Природний	31...36,5	94...105	0,71...0,83
Супутні нафтові	34...41	91...102	0,78...0,95
Нафтопереробних заводів	36...44	95...105	0,82...1,0
Коксовий	16,7...19,2	80	0,39...0,41

За бензиновий еквівалент прийнято кількість бензину (кг), рівноцінно 1м³ газу за теплою згоряння. Аналізуючи дані таблиці можна зазначити, що питома теплота згоряння газів нижча за бензин. Тому при конвертації бензинових ДВЗ необхідно це враховувати. За детонаційними властивостями гази не поступаються високооктановим бензинам. З точки зору експлуатаційних властивостей це основна перевага газів. Існує можливість суттєвого підвищення ступеню стиску двигунів до 11...12 од., тим самим вирівнювання усіх без винятку експлуатаційних показників (у порівнянні з бензиновими). Поки що, стиснуті гази менше розповсюджені ніж зріджені. Це пояснюється в основному зниженням на 10...18% потужності двигуна внаслідок меншої теплоти згоряння пальної суміші. Крім того, балони зі стиснутими газами мають відносно велику вагу – маса одного балону ємністю 0,05 м³ із тиском 20 МПа дорівнює 65 кг, що обмежую використання стиснутих газів на легкових автомобілях, хоча використання легких високої міцності балонів дозволяє вирішити цю проблему.

Газоподібне паливо умовно поділяють на три групи:

1. **висококалорійне** – природні гази, супутні нафтових родовищ, питома теплота згоряння більше 20000 кДж /м^3 ;
2. **середньокалорійне** – коксовий, коксовий збагачений, світильний, водяний, коксовий метанізований та ін., з питомою теплотою згоряння $10000...20000 \text{ кДж /м}^3$;
3. **низькокалорійне** – доменний, генераторний, змішаний – питома теплота згоряння до 10000 кДж /м^3 .

Як паливо для ДВЗ використовують висококалорійні гази але при цьому задовільні показники за потужністю, економічністю і токсичністю відпрацьованих газів можуть бути забезпечені лише за чіткої регламентації компонентного складу газу.

Відповідно до технічно-нормативної документації (ТУ), промисловість виробляє стиснуті гази двох марок – А і Б.

Основними компонентами стиснутих газів є метан (до 96%), енергетичний потенціал якого достатньо високий, що приваблює його застосування. Але використання в ДВЗ в стиснутому стані метану проблематично з вище наведених ознак (значна маса ємностей для зберігання). Використання енергомісткого метану більш привабливо у зрідженому стані, коли об'єм зменшується майже у три рази. Разом з тим, зрідження метану, який має температуру кипіння нижче -160^0 С пов'язане з відповідними труднощами. Крім того, для його зберігання і транспортування необхідна спеціальна термостатична тара або з іншою надійною термоізоляцією. Тому на сьогоднішній день більш застосовується як паливо для ДВЗ зріджений газ.

Оснoву зрідженого газу складають пропан і бутан. Критична температура, яких відповідно 97^0 С та 126^0 С при атмосферному тиску. Автомобільні балони місткістю до 250 дм^3 заповнюються до тиску $1,6 \text{ МПа}$. За такого тиску пропан – бутанові фракції гарантовано знаходяться у рідкому стані при звичайних температурах експлуатації автомобілів. Відносно невисокий робочий тиск дозволяє у декілька разів зменшити масу балонів, що дає можливість збільшити

їх місткість, а відповідно – запас ходу автомобіля. Зріджені гази (пропан-бутанові) мають вищу питому теплоту згоряння, ніж стиснуті (метан, етан). Тому в цілому ефективність їх використання значно вища для ДВЗ. Промисловість виробляє зріджені гази для автомобілів двох марок: «ПА» і «ПБА». Загальна характеристика наведена у табл.3.

Таблиця 3 - Характеристика зріджених газів

Показники	ПА	ПБА
1	2	3
Склад компонентів, Метан і етан Пропан Вуглеводні C ₅ (і вище) Ненасичені вуглеводні, не більше Об'ємна частка рідкого залишку при 40 °С Надлишковий тиск насиченої пари, МПа: - при 45 °С , не більше;	% Не нормується 90 ± 10 Не нормується 6 відсутність	% Не нормується 50 ± 10 Не нормується 6 відсутність
- при (-35) °С , не менше; - при (-20) 45 °С , не менше; - масова частка сірки і сірчастих сполук, % не більше; - в тому числі сірководню, не більше; - вміст вільної води і лугів; - питома теплота згоряння; - ОЧМ; - Рекомендована температура використання	1,6 0,07 - 0,01 0,003 Відсутнє 46000 кДж/кг 85...100 од (-20 °)...(-35 °)	1,6 - 0,07 0,01 0,003 Відсутнє 46000кДж/кг 85.. 100 од до (-20°)

З точки зору екологічної безпеки використання газів у ДВЗ значно ефективніше. В складі відпрацьованих газів набагато менше токсичних речовин (у порівнянні з бензином): оксиду вуглецю - у 2...3 рази; оксиду азоту – в 1,2...2 рази; оксидів вуглеводнів в – 1,1...1,4 рази. При спалюванні газів двигуни при повній потужності можуть працювати на збідненій суміші ($\alpha = 1,2...1,3$), при цьому кількість відкладень на ЦПГ менше в 10...15 разів. Це дає можливість збільшити термін експлуатації моторної оливи в 1,5...2 рази

В чистому вигляді газу стиснуті і зріджені не мають запаху, тому для визначення їх присутності до них додають одоранти. На 100 л зрідженого газу додають 2,5 г етилмеркаптану. При такій концентрації можна визначити витікання 0,4...0,5 % газу в повітрі.

Перспективний шлях вирішення енергетичних проблем (особливо в с/г) – виготовлення біопалива з органічних відходів (біогазу). Для отримання біогазу використовується процес анаеробного зброджування у відповідних установках. Субстратом для анаеробної ферментації є відходи виробництва, а також залишки с/г культур (солома, силос) і харчові відходи.

Компоненти біогазу мають такий склад: CH_4 – 50...80%; CO_2 – 20...50%; H_2S – до 1%. Питома теплота згоряння – 21000...23000 кДж/м³.

Привабливість біогазу, як палива полягає у значній кількості відходів с/г виробництва, а також у використанні відновлювальної сировини.

ЛЕКЦІЯ 5

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИКОРИСТАННЯ СТИСНУТИХ ТА СКРАПЛЕНИХ ГАЗІВ

1 .Експлуатаційні властивості, маркування та застосування стиснутих та скраплених газів.

Загальні відомості і класифікація

Газоподібне паливо – це суміш різних газів (горючих і негорючих). Основними горючими компонентами є водень, оксид вуглецю, метан та газоподібні вуглеводні: етан, пропан, бутан, іноді сірководень. Негорючі компоненти – вуглекислий газ, азот, кисень.

Порівняно з іншими видами газоподібне паливо має такі переваги:

- о дешеве і після вугілля найпоширеніше, з великими запасами; згоряє в майже теоретичній кількості повітря, що забезпечує високі коефіцієнти корисної дії і температуру згоряння;
- о при згорянні не утворює небажаних продуктів (сірчистих сполук, кіптяви і диму);
- о легко запалюється при будь-якій температурі навколишнього повітря;
- о може бути використане в стиснутому і зрідженому стані;
- о для зберігання газу не потрібні спеціальні складські приміщення, оскільки його подають по газових магістралях.

Газоподібне паливо має й негативні властивості:

- о утворює вибухові суміші з повітрям (природний газ, метан, водень);
- о легко витікає через нещільності;
- о гази, до складу яких входить оксид вуглецю (генераторний, змішаний, світильний, водяний, коксовий) дуже отруйні.

Як і інші види палива, газоподібне поділяють на:

- о природне – використовується в тому вигляді, в якому воно знаходиться в надрах землі (природний газ газових родовищ і супутний);

- о штучне – гази, які одержують як побічний продукт при переробці нафти і твердого палива або спеціально за допомогою газогенераторів (доменний, коксовий, генераторний).

Залежно від фізичних властивостей гази можуть бути:

- о зріджені – гази з відносно високою критичною температурою, при підвищенні тиску до 1,0... 1,5 МПа переходять у рідкий стан, в основному це пропан-бутанові вуглеводні;

- о стиснуті – гази з низькою критичною температурою, які залишаються в газоподібному стані при нормальній температурі навіть при дуже високому тиску (до 20 МПа), до них належать метан, оксид вуглецю, водень, етилен.

Газоподібне паливо за теплотою згоряння поділяють на три групи:

- о висококалорійне, з теплотою згоряння понад 20000 кДж/м³ (природні гази газових родовищ і супутні, нафтовий газ);

- о середньокалорійне, з теплотою згоряння 10000... 20000 кДж/м³ (коковий, світильний та ін.);

- о низькокалорійне, з теплотою згоряння до 10000 кДж/м³ (доменний, генераторний та ін.).

Характеристика і асортимент палив

З усіх видів газоподібного палива найпоширеніші природні гази, які поділяють на дві групи:

- о гази газових родовищ;
- о супутні, які добуваються разом з нафтою.

Природні гази чисто газових родовищ за складом і тепловою цінністю відрізняються між собою незначно. Головною їх складовою є метан – CH₄.

Для природного газу, який надходить по трубопроводу, нормується тільки вміст шкідливих домішок: сірководню, аміаку, смол, пилу, вологи тощо.

За сортами і марками їх не поділяють. Природний газ має низьку критичну температуру (мінус 161°C при атмосферному тиску і мінус 82°C при тиску 4,6 МПа). Тому навіть при високому тиску він знаходиться в газоподібному стані і його називають стиснутим. До таких газів відносять і деякі штучні.

Супутний нафтопромисловий газ, крім метану, містить більш важкі газоподібні вуглеводні, кількість яких залежить від складу нафти того чи іншого родовища. В багатьох випадках газовий фактор (кількість газу в кубічних метрах на одну тону нафти) дуже високий (50... 100 м³). Вуглеводні з числом атомів вуглецю 1...4, які входять у склад нафти, при нормальних умовах, перебувають у газоподібному стані, їх уловлюють при добуванні нафти. Теплота згоряння супутного нафтопромислового газу вища, ніж газів газових родовищ, але його використовують головним чином як сировину для хімічної і нафтохімічної промисловості.

Зріджений газ широко використовують для газозабезпечення сільської місцевості і районів, що не підключені до газової мережі, а також як паливо в котельно-побутових і невеликих теплоустановках (у теплицях, на тваринницьких фермах тощо). Зріджений газ – це легкоконденсуючі при стиску газоподібні вуглеводні.

Основним компонентом зрідженого газу є пропан – важкий газ (густина за повітрям 1,52). Він створює оптимальну величину тиску насиченої пари, що особливо важливо для зниження маси газових балонів транспортних установок.

Етан – газ, що за густиною близький до повітря. Одержують його з супутних нафтових газів, входить до складу зріджених газів у незначній кількості, але підвищує загальний тиск насиченої пари і тим самим забезпечує в зимовий період надлишковий тиск, який необхідний для нормальної роботи газобалонних установок.

Бутан має два ізомери, густина за повітрям 2,06..2,09. Одержують з тих же нафтопромислових газів, що і пропан. Є найбільш висококалорійним компонентом зріджених газів. При температурі мінус 0,5°C і нормальному

атмосферному тиску він переходить у рідкий стан, що не дозволяє використовувати його в зимовий період для комунально-побутових потреб.

Пентан – важкий газ, густина за повітрям 2,67. У більшості випадків знаходиться в рідкому залишку і при 20 °С не повинен перевищувати 1...2 % об'єму зрідженого газу, тому що він різко знижує пружність парів і підвищує точку роси.

Зріджені гази відповідно до ГОСТ 20448-80 випускають таких марок:

- о СПБТЗ – суміш пропану і бутану технічних зимова;
- о СПБТЛ – суміш пропану і бутану технічних літня;
- о БТ – бутан технічний.

Зріджений газ надходить до споживачів у цистернах або в тонкостінних балонах під тиском 1,6 МПа.

Штучне газоподібне паливо можна одержати шляхом газифікації твердого палива або його сухою перегонкою (суть процесів розглядається у відповідних розділах і главах). За допомогою газифікації твердих палив одержують: генераторний газ, змішаний, водяний та ін.; при сухій перегонці: напівкоксівий, коксовий, світильний та ін.

Генераторний газ отримують шляхом газифікації твердих палив у газогенераторах.

Змішаний генераторний газ одержують при подачі до газогенератора змішаного пароповітряного дуття. Водяна пара розкладається і збагачує горючу частину газу воднем. Порівняно з генераторним газом, змішаний містить більше водню, метану і менше азоту. У зв'язку з цим теплота згоряння його буде вищою, ніж генераторного.

Водяний газ одержують, пропускаючи водяну пару через розжарений шар палива. Склад водяного газу залежить від палива, яке газифікується. Теплота згоряння 10420 кДж/м³. Кращим паливом для одержання водяного газу є кокс і антрацит. При згорянні водяного газу утворюється висока температура (до 2800 °С), завдяки чому його застосовують для зварювання і різання металів,

синтезування штучного рідкого палива, а також добування водню для гідрогенізаційних процесів.

Коксовий газ. Головною складовою частиною коксового газу є водень (біля 50%), вміст якого збільшується з підвищенням температури коксування, і метан (біля 25 %). Теплота згоряння коксового газу 15500... 21600 кДж/м³.

Напівкоковий газ відрізняється від коксового більшим вмістом вуглеводнів і меншим вмістом водню. Основною горючою частиною напівкокового газу є метан (40...50 %). Теплота згоряння цього газу залежить від вихідного палива і середнє значення приблизно дорівнює 24000 кДж/м³.

Світильний газ одержують під час сухої перегонки твердих видів палива при більш високих температурах (1000... 1200 °С), ніж при коксуванні вугілля, за тепловою цінністю приблизно дорівнює коксовому газу, теплота його згоряння 8400...23100 кДж/м³.

Доменний (колосниковий газ) виділяється під час плавки руди в доменних печах. За складом він наближається до генераторного газу і відноситься до низькокалорійних з теплою згоряння 3800...5300 кДж/м³.

Нафтовий газ одержують шляхом перегонки важких залишків нафтопереробних або смолопереробних заводів. Із газів сухої перегонки нафтовий газ має найбільшу теплоту згоряння 35700 кДж/м³, використовують його в основному для спалювання у газових двигунах, газового зварювання тощо.

Застосування газоподібного палива в ДВЗ

Використання газоподібного палива для ДВЗ, крім загальних переваг, має свої специфічні:

- о знижується токсичність відпрацьованих газів, що при сучасній концентрації автомобілів суттєво оздоровить повітряний басейн, особливо у великих містах;

- о збільшується в середньому на 35...40 % моторесурс двигуна і в 2...3 рази строк роботи моторного масла, оскільки газоповітряна суміш не змиває масляної плівки з дзеркала циліндра і не розріджує масло в картері двигуна;

- о висока детонаційна стійкість газоподібного палива дозволяє підвищити ступінь стиску двигуна, а відповідно його потужність (до 15%) і паливну економічність (до 12 %);

- о поліпшується розподіл пальної суміші між циліндрами.

Проте ці переваги не завжди повністю реалізуються внаслідок зменшення наповнення циліндрів, оскільки для роботи на газ переводять карбюраторні двигуни, рідше дизелі, а не використовують спеціальні газові двигуни. Крім того переведення двигунів на газоподібне паливо пов'язано з рядом додаткових витрат:

- о ціна автомобіля зростає на 21...27 % із-за наявності додаткової газової апаратури;

- о металомісткість газобалонних автомобілів збільшується на 65...160 кг, а при використанні стиснутого газу — на 400...950 кг, залежно від кількості і маси балонів високого-тиску, що призводить до зниження вантажопід'ємності на 14...18 %;

- о трудомісткість технічного обслуговування і ремонту газобалонних автомобілів при використанні зрідженого газу збільшується на 3...5 %, а при використанні стиснутого — на 12... 15 %;

- о при використанні стиснутого газу пробіг автомобіля на одній заправці скорочується до 200...250 км (замість 400..., 450 км у бензинових двигунів).

Використання газоподібного палива в дизельних і карбюраторних двигунах має свої специфічні особливості. Для переведення дизелів на газоподібне паливо замість дизельної паливної апаратури установлюють систему запалювання, в отвори для форсунок — свічки, на впускному трубопроводі монтують змішувач з дросельним патрубком, між блоком і головкою циліндрів ставлять прокладку для зменшення ступеня тиску.

При переведенні карбюраторних двигунів на газоподібне паливо також створюють газову модифікацію стандартного карбюраторного двигуна, обладнують його газобалонною установкою і карбюратором-змішувачем. У такому випадку зберігається можливість роботи двигуна і на бензині, і на газі. Причому на бензині двигун розвиває номінальну потужність, а на газовому паливі потужність двигуна зменшується (на 7...11 % при використанні зрідженого газу і на 16...20 % – стиснутого) внаслідок зменшення наповнення циліндрів газоповітряною сумішшю, а також меншою її теплотою згоряння.

Спеціальний газовий двигун, що розвиває номінальну потужність тільки па газоподібному паливі, має кращі техніко-економічні показники, яких досягають підвищенням ступеня стиску і встановленням газового змішувача. Такий двигун обладнують резервною системою живлення, при роботі якої двигун розвиває не більше 40...50 % номінальної потужності.

Останнім часом багато уваги приділяється використанню двигунів, що одночасно працюють на двох видах палива: газовому і рідкому, а саме бензогазових двигунів. Вони працюють на бензогазоповітряній суміші, що займається від електричної іскри.

При використанні газоподібного палива систему живлення двигуна, незалежно від її типу, обладнують газобалонною установкою. За видом газоподібного палива для ДВЗ газобалонні установки поділяють на три типи: для стиснутого природного газу, зрідженого природного газу (рідкого метану) і зрідженого пропан-бутанового газу. Всі газобалонні установки складаються з балонів для зберігання і транспортування газу, газоподавальної і змішувальної апаратури, контрольних приладів.

Стиснутий газ зберігають у товстостінному балоні місткістю 50 дм³ (за водою), в якому під тиском 20 МПа може бути накачано 10 м³ газу, що знаходиться під атмосферним тиском. На автомобілі, залежно від вантажопід'ємності, їх встановлюють до 8, що достатньо для руху на 200... 250 км.

На газонаповнювальних станціях газ очищають, осушують, стискають до робочого тиску 20 МПа, а потім наповнюють балони автомобілів. Розроблені технічні умови «Газ горючий природний стиснутий, паливо для газобалонних автомобілів» ТУ 51-166-84 згідно з якими введено дві марки газу — А і Б. Вони різняться вмістом метану А — 95 ± 5 , Б — 90 ± 5 % і азоту А — 0...4, Б — 4...7 %. Інші компоненти складають не більше: етан — 4%, пропан — 1,5 %, бутан — 1,0 %, пентан — 0,3 %, діоксид вуглецю — 1,0 %, кисень — 1,0 %. Теплота згоряння відповідно 33896 і 33657 кДж/м³.

Зріджений природний газ. Основними компонентами цього виду палива є метан (96...97 %) і азот (3...4 %). Його застосування як моторного палива дає можливість використати великий енергетичний потенціал газових родовищ. Разом з тим зрідження метану, який має температуру кипіння нижче мінус 160 °С, пов'язане з відповідними труднощами, крім того для його зберігання і транспортування необхідна спеціальна термостатична тара з вакуумом або іншою надійною термоізоляцією. Викликає затруднення заправка рідким метаном: при зрідженні різко збільшується його вартість. Крім того втрати метану від випаровування, навіть в умовах вакуумної ізоляції, складають 7...8 % на добу, причому це не тільки втрати палива, але і різке збільшення ризику пожежі і вибуху. В той же час об'єм рідкого метану майже в 3 рази менший, ніж об'єм стиснутого при 20 МПа газу, а маса термостатичних балонів у 8 разів менша маси балонів стиснутого газу. Номінальний тиск в криогенному балоні, залежно від конструкції, становить 0,07...0,7 МПа.

Зріджене газоподібне паливо — це пропан-бутанові фракції газів, які мають теплоту згоряння біля 46000 кДж/кг, октанове число 85...100 (за моторним методом).

Зріджені газу можна транспортувати в звичайних залізничних і автомобільних цистернах. Для заправки ними автомобілів використовують прості і дешеві газонаповнювальні і пересувні установки.

Зріджений пропан-бутановий газ має максимальний тиск 1,6 МПа, для його зберігання і транспортування на борту автомобіля використовують балони місткістю до 250 дм³. Балони заповнюють зрідженим газом не більше 90 % об'єму (враховується можливе теплове розширення газу). Решту (10%) займає газоподібна фаза, яка використовується для пуску холодного двигуна.

ЛЕКЦІЯ 6

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗІВ

1. Експлуатаційні властивості та застосування біогазів

Особливості одержання і використання біогазу

Біомасою називають все те, з чого складаються рослини та тварини, а також відходи їх життєдіяльності. Біомаса рослин на суші нашої планети становить $2,4 \cdot 10^{12}$ т. В океані щорічно утворюються $0,6 \cdot 10^{10}$ т рослинної маси. Шляхом фотосинтезу виробляється 173 млрд. т речовин (на суху масу), що приблизно у 20 разів перевищує енергію корисних копалин, що видобуваються у світі.

За даними ООН, від різних злакових рослин, вирощуваних на планеті, щорічно утворюється 1700 млн. т соломи, велика частина якої не використовується. Не використовується, як правило, 120 млн. т відходів після обробки цукрової тростини. Аналогічна картина із стеблиною бавовнику. Великі відходи тваринництва та птахівництва.

Із загальної кількості біомаси тільки 0,5% використовується людиною для їжі. Біомаса як акумулятор значної енергії може її віддавати у випадку використання відповідних біохімічних процесів.

За типом енергетичних процесів, пов'язаних із переробкою біомаси, розрізняють такі способи:

- *пряме спалювання* для безпосереднього одержання тепла. Основні вимоги до біопалива: висока теплотворна здатність, низька вологість та зольність;

- *піроліз*. Відбувається нагрівання до значних температур біомаси при повній або частковій відсутності кисню. Якщо піроліз провадиться з єдиною метою – отримати горючий газ, то процес ще називають газифікацією біомаси.

Горючий газ (в основному H_2 і CO із малими домішками CH_4), що одержується, має теплоту згоряння 4-8 МДж/м³;

- *спиртова ферментація*. Етиловий спирт або етанол – летке, рідке паливо, яке можна використати замість бензину. Його можна одержати як за допомогою хімічного синтезу, так і під час спиртового бродіння;

- *анаеробна переробка*. Біомаса під впливом певних груп мікроорганізмів за відсутності кисню може розкладатися на метан (CH_4), вуглекислий газ (CO_2) та попутні гази. Ця суміш одержала назву біогаз, який має високу теплотворну здатність. Під час виробництва біогазу, окрім біомаси рослинного походження, широко застосовують відходи тваринництва, фізіологічні відходи людини, промислові та міські відходи органічного походження.

У природних умовах розкладання біомаси відбувається під дією багатьох бактерій, що називають анаеробними. При цьому мають бути наявні волога і теплота та відсутнє світло. У присутності атмосферного кисню вуглець біомаси розкладається (згоряє) до вуглекислого газу. Якщо біомаса перебуває в обмеженому об'ємі з недостатнім надходженням кисню із зовнішнього середовища, то за певних умов розвиваються анаеробні бактерії. Під впливом цих бактерій вуглець біомаси розподіляється між повністю відновленим – CH_4 і повністю окисленим – CO_2 .

Існує низка умов, що забезпечують ефективність дії анаеробних бактерій. До найістотніших відносяться підтримання постійної температури. Як правило, виділяють три характерні рівні температур, що відповідають певному виду анаеробних бактерій.

Нижчий рівень температур, за якого відбувається психро-філічне бродіння, становить до 20°C. Ця група бактерій діє за температури навколишнього середовища у теплий період року. За рахунок бродіння відбувається розкладання біомаси у трясовині боліт і утворення “болотного” газу, який є біогазом.

При середньому рівні температур, що становить 30-40°C (оцінка значення температур наводиться приблизно), розвивається зоофільна група бактерій. При цьому оптимальним вважається значення температури 32-34°C. Вищий рівень визначається значенням температур 45-85°C. При цьому відбувається термофільне бродіння. Оптимальним вважають значення температури у межах 52-55°C.

Термофільне та мезофільне бродіння не може відбуватися без додаткових затрат енергії на піднімання заданої температури процесу. Причому анаеробні бактерії дуже хворобливо реагують не тільки на величину, а й на різні зміни температури. Збільшення температури процесу призводить до збільшення виходу біогазу, а отже, і до зменшення повного часу розкладання біомаси. Вважається, що збільшення температури процесу на 5°C веде до подвоєння виходу біогазу.

Більшість метаноутворювальних бактерій добре розвивається у нейтральному середовищі із $\text{pH} = 6,5-7,5$. Потрібний певний вміст азоту і фосфору: близько 10% та 2% маси сухого зброжувального матеріалу відповідно. У разі повного зброджування біомаси утворюються 50-75% CH_4 , 45-20% CO_2 , 1% H_2S і незначні кількості азоту, кисню, водню та окису вуглецю. У середньому вважають, що 1 м³ біогазу під час згоряння може дати 20-25 МДж енергії, або енергія, що міститься у 1 м³ біогазу еквівалентна енергії 0,6 м³ природного газу, 0,74 л нафти або 0,66 л дизельного палива.

Тривалість зброджування гною залежить від виду біомаси і температури зброджування. Для гною великої рогатої худоби та курячого посліду тривалість становить приблизно 20 діб, для свинячого гною – 10 діб. Активність мікробної реакції значною мірою визначається співвідношенням вуглецю та азоту. Найсприятливіші умови створюються за співвідношення $\text{C/N} = 10-16$.

За добу від однієї тварини можна одержати таку кількість біогазу: велика рогата худоба (масою 500-600 кг) – 1,5 м³, свиня (масою 80-100 кг) – 0,2 м³, курка, кріль – 0,015 м³.

Для одержання біогазу можуть бути використані силос, солома, харчові відходи та ін.

У середньому 1 м³ біогазу може дати 21-29 МДж енергії, яку можна використовувати для різних потреб сільського господарства. Від 1 м³ біогазу за допомогою електричного генератора, що приводиться у дію газовим двигуном, можна отримати 1,6 кВт-год електроенергії.

Біогаз можна спалювати як паливо у пальниках опалювальних установок, водогрійних котлів, газових плит, в автотракторних двигунах, агрегатах інфрачервоного випромінювання.

У тваринництві для підігріву води потреба у біогазі на одну тварину становить: дійної корови – 21-30 м³, свині – 1,5-5 м³. Великі значення цифр відносяться до малих ферм, менші – до середніх. Потреба у біогазі для опалення доїльних приміщень дорівнює: за кількості корів 40 – 160/330 м³/рік, за кількості корів 60 – 120/140 м³/рік, за кількості корів 80 – 260/530 м³/рік (у чисельнику вказані дані за температури зовнішнього повітря до –10°C, у знаменнику – за температури нижче –10°C).

Для опалення птахівницьких ферм за зовнішньої температури –10°C і внутрішній 18°C потрібно приблизно 1,2 м³/год біогазу на 1000 голів.

Залишок (метанову бражку) можна використовувати як добриво.

Залежно від особливостей технологічної схеми розрізняють три типи біогазових установок (БГУ): безперервні, періодичні та акумулятивні.

Особливості застосування газоподібного палива в сільському господарстві

Усі вуглеводневі гази маючи високу теплоту і температуру згоряння та достатньо низьку займання, надзвичайно пожежно небезпечні у разі розгерметизації трубопроводів і ємностей, у яких вони транспортуються і зберігаються. У повітрі погано вентильованих приміщень, навіть за незначних витікань газу, можуть утворюватися вибухонебезпечні газоподібні суміші.

Одним із засобів зниження вибухонебезпечності є змішування природних газів з деякими штучними (крекінговим, світильним), у яких менші межі вибуховості, тому часто до споживачів надходить змішаний подвійний або потрійний газ. Відсутність запаху в більшості з газів і кольору у всіх вуглеводнів створює труднощі для виявлення газу під час витікання. Для своєчасного виявлення витікання газу йому надають специфічний запах, додаючи гостропахнучі речовини, які називають одорантами. Як одоранти використовують меркатан і його сполуки, а найчастіше метил і етилмеркаан.

У невеликих концентраціях меркатани не шкідливі для організму людини і не руйнують матеріали деталей, що застосовують в системах живлення, в технологічних процесах і побутовій техніці. Запах адоранта, наприклад, етилмеркатану відчувається навіть за концентрацій 0,19 г в 1000 м³ повітря. Одоризацію природних газів здійснюють на газорозподільних станціях, а зрідження – на газонафтопереробних заводах.

Наприклад, на 100 л зрідженого газу додають 2,5 г етилмеркатану і за такої концентрації можна визначити витікання 0,4-0,5% газу в повітрі. Так концентрація газу в повітрі є вибухобезпечною, оскільки складає всього 20% нижньої межі займання. Разом з тим меркаптан має особливості збиратися у невеликій кількості в моторному маслі, системах живлення і запуску.

Природні гази легші ніж повітря і тому збираються у верхній частині приміщення, а пари зріджених газів за густиною перевищують повітря і збираються у низьких місцях, які, зазвичай, погано провітрюються. За атмосферного тиску вуглеводневі гази не є токсичними, але їх присутність у приміщенні знижує в ньому вміст кисню. Потрапивши на шкіру людини рідка фаза пропан-бутанової суміші спричиняє обмороження, що нагадує опік. Санітарними нормами передбачається максимально допустима концентрація в повітрі приміщення насичених вуглеводнів 300 мг/м³, а ненасичених – 100 мг/м³.

Закордонні класифікації газоподібних палив

Масштаби використання газоподібного палива, як палива ДВЗ, за кордоном залежить від співвідношення цін на рідке і газоподібне паливо, а також від вимог максимального використання власних ресурсів і зведення до мінімуму залежності від кон'юктури ринку на нафтопродукти.

Найбільшого поширення одержали стиснутий і розріджені гази, як паливо для ДВЗ, у Японії, США, Новій Зеландії та Канаді, а в європейських країнах – в Італії, Німеччині, Франції, Бельгії та Англії.

У США в 2002 р. використання зрідженого газу, як палива для ДВЗ, досягло понад 5 млн. т, на ньому працює близько 700 тис. автомобілів. Прийнята програма переобладнання автомобілів на стиснутий природний газ. На газ переведено переважно автомобілі сфери обслуговування, в тому числі вантажні та легкові автомобілі, таксі. Усі автомобілі виготовлено за універсальною схемою живлення. У випадку використання стиснутого газу вартість експлуатації зменшується в 1,6 рази порівняно з використанням рідкого палива, збільшується термін служби двигуна до капітального ремонту (з 95 до 130 тис. км), вартість встановлення обладнання окуповується за 2-5 років. Ціна 1 м³ стиснутого газу в 2,8 рази є меншою за ціну 1 л бензину. Для інших країн різниця в цінах на бензин і газоподібне паливо складає: в Німеччині – 25%, в Австралії – 34%, в Італії – 38%, в Нідерландах – 56%.

Провідне місце щодо застосування газоподібного палива займає Італія. У цій країні переведення автомобілів на газоподібне паливо почалося ще в 30-ті роки. В даний час в Італії на газобалонні автомобілі в структурі парку припадає 4,6%, у тому числі 1,6% на автомобілі, що працюють на стиснутому природному газі. Загальне споживання газоподібного палива на автомобільному транспорті Італії складає 3% (у тому числі 1,2% стиснутого) від загальної кількості газу, що витрачається галузями національної економіки.

У Канаді 1 м³ стиснутого природного газу є нижчим за вартість 1 л бензину в 2 рази. В цій країні існують й інші стимули (податкові пільги,

державна дотація в розмірі 400 доларів на автомобіль у разі переведенні його на природний газ), що робить економічно вигідним використання газоподібного палива. В результаті цього термін окупності газобалонного обладнання становить близько 1 року.

У Німеччині значне поширення газоподібне паливо одержало у 80-ті роки. Перевагу в цій країні надають зрідженому газу. Автомобільний транспорт у 2002 році витратив близько 50 млн. т зрідженого газу і споживання його зростає.

Інтерес становить досвід експлуатації газобалонних автомобілів Японії, яка не має власних сировинних ресурсів для виробництва зрідженого газу, але досягла помітних успіхів в сфері ефективного його використання. В Японії таксомоторний парк (понад 300 тис. автомобілів) працює на зрідженому газі. Діє державний стандарт, який регламентує склад та інші параметри газу під час його використання у літній та зимовий періоди:

Таблиця 6.1. Фізико-хімічні властивості зріджених вуглеводневих газів

Показники	Норматив
Густина в рідкій фазі при 15 °С, Н/л	5,5-5,6
Температура пароутворення, °С, не більше	0
- при 95%	+2
- при 100%	0,5-0,85 / 0,3-0,55
Тиск пари при 37,8°С, МПа	0,01
Вміст сірки (за масою), % не більше	20-40 / 0-20
Склад газу (за масою), %:	80-40 / 100-80
- пропан	5,0
- бутан та ізобутан	0,5
- бутилен та ін., не більше	
- залишок, % не більше	

Примітка. У чисельнику подано дані для зимового виду, у знаменнику – для літнього.

В інших країнах використовують зріджений газ різного виду, включаючи чистий пропан (США) і бутан (Швеція). Склад і теплотехнічні властивості, як правило, достатньо жорстко регламентуються. Відхилення від нормального складу обмежується межами А і В, які гарантують зміну теплоти згоряння і

випаровування, що забезпечує економічну і надійну роботу двигунів за будь-яких погодних умов (табл. 6.2).

Таблиця. 6.2 - Характеристика зрідженого газу, який застосовується у Франції

Показник	Номинальний склад	Межа	
		А	В
Теплота згоряння, кДЖ/кг	45700	45300	46000
Густина за 15°C, Н/л	5,73	5,80	5,63
Тиск за, МПа:	0,16	0,13	0,21
- за 0°C	0,92	0,81	1,08
- за 50°C	29	21	38
Склад рідкої фази, % за об'ємом:	27	16	26
- пропан	24	31	20
- бутан	19	31	15,4
- ізобутан	1	1	0,6
- пропен і бутен			
- етан та ізопентан			

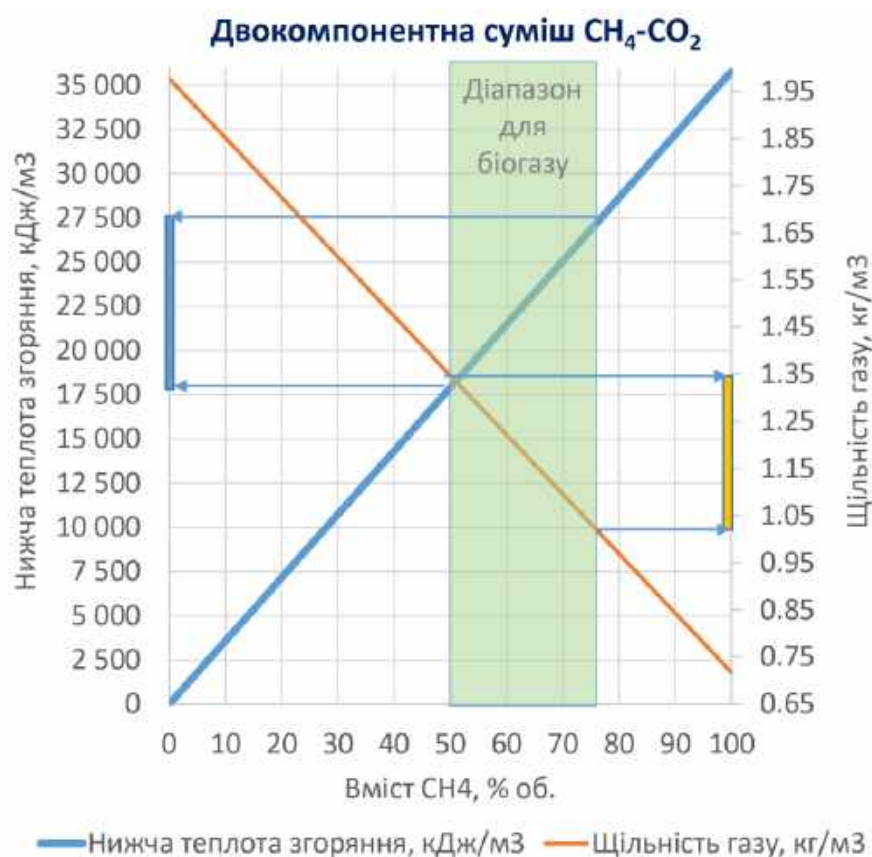
Фізичні та паливні властивості біогазу

Біогаз – продукт анаеробного бродіння, є багатокомпонентним газом, склад якого варіюється залежно від багатьох факторів, зокрема, вихідної сировини, умов та часу бродіння. Основними компонентами біогазу є метан (50...75%), вуглекислий газ (25...45%). Більший вміст метану може дати застосування сировини, що містить жири.

Теплота згорання і щільність окремих газів			
Чисті гази	Нижча теплота згорання (} н кДж/м	Щільність р, кг/м	Нижча теплота згорання (} н кДж/кг
Метан CH ₄	35 820	0,717	49 958
Етилен C ₂ H ₄	58 690	1,261	46 542
Етан C ₂ H ₆	63 751	1,356	47 014
Пропан C ₃ H ₈	91 256	2,020	45 176
Бутан C ₄ H ₁₀	118 651	2,840	41 779
Пентан C ₅ H ₁₂	145 833	3,218	45 318
Гексан C ₆ H ₁₄	162 112	3,840	42 217

Окис вуглецю CO	12 636	1,250	10 109
Водень H ₂	10 760	0,0898	119 822
Сірководень H ₂ S	23 150	1,539	15 042
Кисень O ₂	-	1,429	-
Азот N ₂	-	1,251	-
Двоокис вуглецю CO ₂	-	1,977	-
Водяна пара H ₂ O	-	0,804	-
Сірчистий газ SO ₂	-	2,852	-

При нормальних умовах, біогаз з об'ємним вмістом CH₄ 55% має нижчу теплоту згоряння близько **19,7 МДж/м³** та щільність **1,28 кг/м³**



Фізичні та паливні властивості біогазу

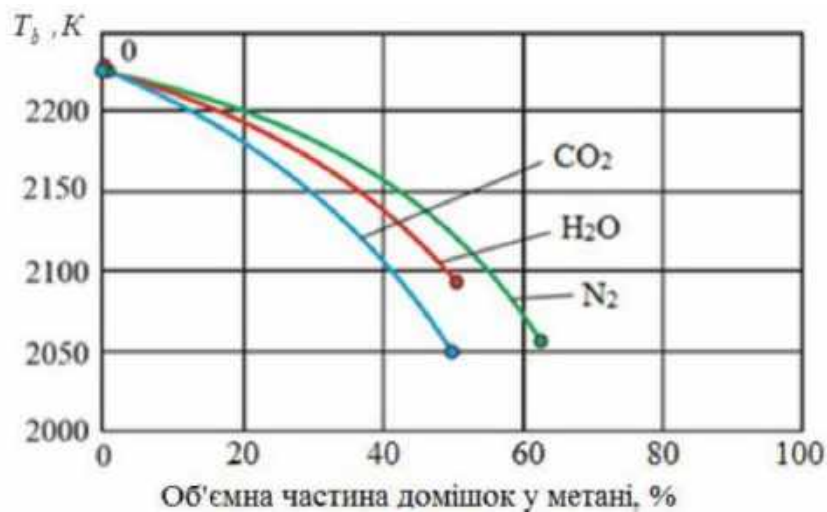
Визначення нижчої теплотворної здатності через об'ємні частки компонентів при нормальних умовах (273,15 К і 101 кПа), в МДж/м³:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 35,82 \cdot \text{CH}_4 + 23,5 \cdot \text{H}_2\text{S} + 10,8 \cdot \text{H}_2$$

Загалом, збільшення концентрації баластних домішок погіршує паливні властивості біогазу порівняно із природним газом. Зокрема, метан, що

міститься в біогазі має температуру запалювання у 645°C , а для сирого біогазу вона збільшується в залежності від підвищення вмісту баластних домішок, таких як CO_2 та N_2 , та досягає $700\text{--}720^{\circ}\text{C}$. Крім того, у біогазі набагато нижча максимальна нормальна швидкість поширення полум'я.

Вплив домішок на температуру горіння:



Паливні характеристики біогазу та природного газу

Показник	Біогаз					Природним газ	
	Вміст баластних домішок в біогазі, %						
	0	20	30	40	50	60	
Калорійність $a_{,,P}$, МДж, ' м ³	35,8	28,6	25	21,5	17,9	14,3	33-35
Швидкість поширення полум'я ІД. см/с	38,0	28,3	23,7	19,2	14,6	10,1	37-40
Температура запа- лення Тз °С	645	686	695	709	716	725	650
Температура горіння m_{gc}	1970	1909	1872	1827	1775	1700	1900-2000
Верхня границя за- палення / _в. %	15	14,1	13,2	12,2	10,9	10,1	15
Нижня границя запалення l _{Ні} %	5	5,6	5,8	6	6,3	6,4	5
Щільність p . кг/м"	0,68	0,93	1,05	1,2	1,32	1,45	0,7-0,75
Число Воббе МДж/м ³	51,5	38,4	31,9	25,9	20,1	15,7	47-52

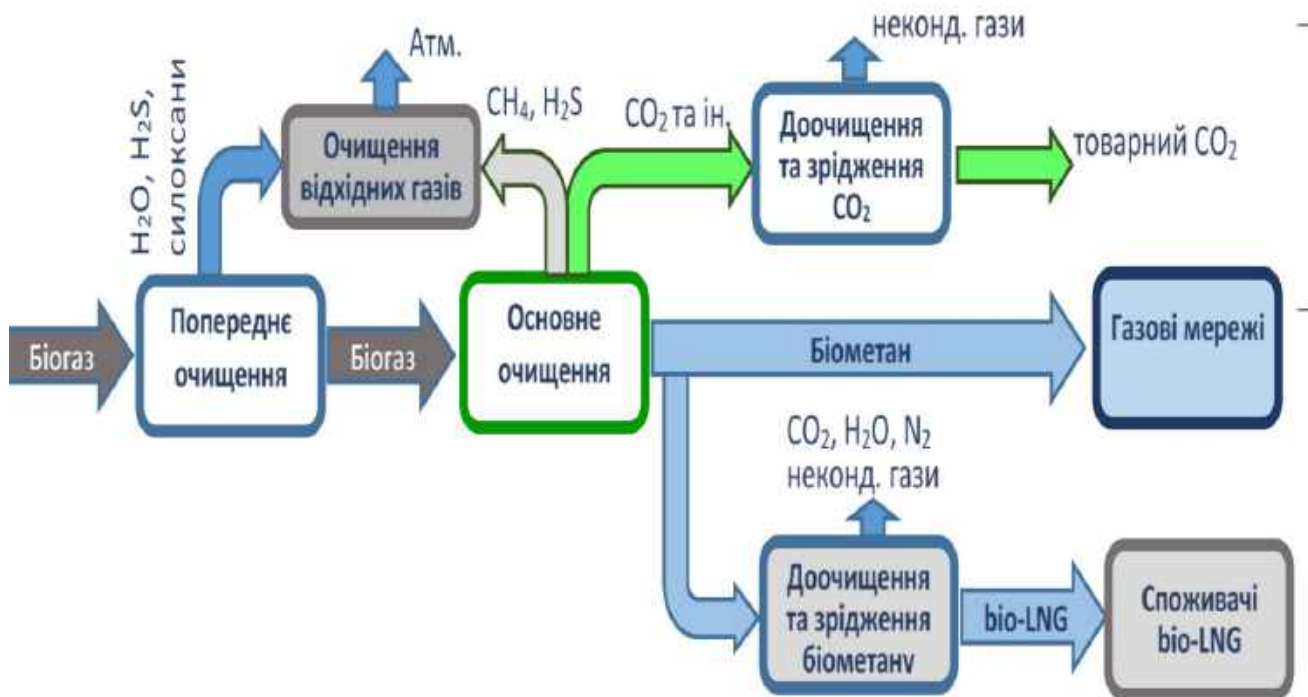
Фізичні та паливні властивості біогазу

Вид домішок	Джерело утворення	Характер впливу
Вуглекислий газ (CO ₂)	Побічний продукт метаногенезу	- зниження загальної калорійності суміші, - зниження ефективності використання енергії палива; - призведення до невідповідності технологічним режимам; - погіршення теплових балансів агрегатів; - зниження рівня детонації та стійкості горіння.
Сірководень (H ₂ S)	Продукт переробки білків у продуктах життєдіяльності тварин та рослинних відходах метаноутворюючими мікроорганізмами	є токсичним газом та утворює ще більш токсичні сполуки при спалюванні, може детонувати при спалюванні в ДВЗ, сприяє корозії обладнання, отруює каталізatori та адсорбенти на подальших технологічних стадіях та при кінцевому використанні призводить до перекислення мастил та утворення осаду
Азот (N ₂)	Доступ повітря до джерела утворення або транспортування біогазу до споживача	призводить до збільшення антидетонаційних властивостей біогазу.
Кисень (O ₂)		може спричиняти займання при певних концентраціях
Силоксани	Косметичні речовини та консерванти	утворюють оксид кремнію і мікрокристалічний кварц при спалюванні, які потім відкладаються на головках циліндрів двигунів, клапанах, свічках запалювання, посилюючи абразивний знос обладнання
Моноксид вуглецю (CO)	Розклад лігніноцелюлозних комплексів при підвищених температурах та не достатньому доступі кисню	- екологічна небезпека, отруйність; - утворення з водою корозійних речовин.
Вода (H ₂ O)	Випаровування в реакторах, а також побічний продукт метаногенезу	сприяє корозії шляхом утворення кислотних сполук, а також може пошкодити обладнання при конденсації чи замерзанні при низьких температурах
Аміак (NH ₃)	Анаеробне розкладання білків	є токсичним газом та створює токсичні сполуки при спалюванні, сприяє корозії обладнання
Леткі органічні сполуки (ЛОС)	Результат реакцій розкладання органічних речовин	є канцерогенними та токсичними, утворюють діоксини та фурани, справляють корозійний вплив на двигуни внутрішнього згоряння, руйнують резину і пластики

Порівняння типового складу біогазу з біогазової установки та вимог до складу природного газу та біометану

Склад та інші характеристики	Біогаз з відходів сільського господарства [2]	«Усереднений» біогаз [2, 3]	Вимоги Кодексу газотранспортної системи (Україна) [4]	Вимоги до якості біометану, що передається до газорозподільної мережі [5]
метан (CH ₄), %об.	50-80	50-75	>90	> 95
вуглекислий газ (CO ₂), %об.	19-50	25-45	< 2	< 2,5
вода (H ₂ O), %об.	<6	2-7	-	-
азот (N ₂),%об.	0-1	1-5	< 5	< 5
кисень (O ₂),%об.	0-1	<2	< 0,2	< 1
водень (H ₂),%об.	0-2	0-3	-	< 0,5
сірководень (H ₂ S), ppm	2160-10000	0,1-0,5%	< 6 мг/м ³	< 5 мг/м ³
амоній (NH ₃), ppm	50-144	<1	-	< 10 мг/м ³
моноксид вуглецю (CO),%об.	0-1	0-0,3%	-	-
загальний хлор (Cl) мг/м ³	-	-	-	< 1,5 мг/м ³ (F, Cl)
силоксани, %об.	сліди	-	-	< 1 мг/м ³
Нижча теплота згоряння, МДж/нм ³	20,5-23 [6]	-	32,66-34,54 (при 20-25 °C)	-

Основні матеріальні потоки та супутні продукти процесів очищення біогазу до біометану та його подачі споживачам



Крім CO₂, мають вилучатись:

- **вода (H₂O)**, що сприяє корозії шляхом утворення кислотних сполук, а також може пошкодити обладнання при конденсації чи замерзанні при низьких температурах;
- **сірководень (H₂S)**, що є токсичним газом та утворює ще більш токсичні сполуки при спалюванні, може детонувати при спалюванні в ДВЗ, сприяє корозії обладнання, отруює каталізатори та адсорбенти на подальших технологічних стадіях та при кінцевому використанні;
- **силоксани**, що утворюють оксид кремнію і мікрокристалічний кварц при спалюванні, які потім відкладаються на головках циліндрів двигунів, клапанах, свічках запалювання, посилюючи абразивний знос обладнання.
- **аміак (NH₃)**, що є токсичним газом та створює токсичні сполуки при спалюванні, сприяє корозії обладнання;
- **кисень**- може спричиняти займання при певних концентраціях; _ **леткі органічні сполуки (надалі- ЛОС)**, що є канцерогенними та токсичними, утворюють діоксини та фурані, справляють корозійний вплив на двигуни внутрішнього згоряння, руйнують резину і пластики.

Способи видалення небажаних компонентів з біогазу на етапі попередньої обробки, та видалення метану з відхідних газів

Компонент	Способи видалення
Вода	- З біогазу: конденсація при стисканні та охолодженні - З біометану: адсорбція силікагелем чи оксидом алюмінію
H ₂ S	- Біологічна десульфуризація в реакторі- сірководень може бути видалений шляхом окислення хемоавтотрофними мікроорганізмами виду T_біоBасШиз або 8игіoЮBi\$. - Біологічна десульфуризація (окремих скруберах). - Хіміко-окислювальне очищення- поглинання сірководню лужними розчинами в спеціальних колоннах. - Осадження сполуками заліза в реакторі - Адсорбція на оксидах металів або активованому вугіллі.

Силоксани	- Водяний скруббер - Кислотне очищення - Охолодження та очищення в шарі активованого вугілля чи молекулярних сит. - Вакуумний адсорбер змінного тиску чи змінної температури
Аміак	- Конденсація парів води та видалення конденсату з розчиненим аміаком. - Установка промивання та осушення газу, що поєднує висушування з абсорбцією NH_3 і H_2S у воді. - Установки на основі молекулярних сит.
Кисень	- Каталітичне окислення - Хемосорбція
Леткі органічні сполуки (ЛОС)	- Фільтрація через активоване вугілля - Мембранна фільтрація - Каталітичне видалення - Адсорбер змінної температури
Метан у відхідних газах	- Регенеративне термічне окислення. - Регенеративне каталітичне окислення. - Додавання до горючих газів з подальшим спалюванням та виробленням енергії. - Кріогенна дистиляція



Фільтрація

Фільтр грубих частинок як перша лінія захисту для всього наступного обладнання

- Параметри конструкції:
- Час використання
- Низький перепад тиску → мінімальні витрати на обслуговування
- Матеріал фільтра повинен бути стійким до агресивних забруднень

Осушення

Збільшує вміст енергії в газі

- Запобігає корозії елементів обладнання
- Часткове видалення H_2S , аміаку, силексанів та інших водорозчинних газів

→ висока ефективність видалення аміаку (аміак має високу розчинність у воді)

Технологія	Агент	Принцип
Охолодження (прибл. 2–5 °C)		Конденсація води. Газ охолоджується нижче точки роси води
Адсорбція	Силікагель Активоване вугілля Молекулярні сита	Вода зв'язується з твердим адсорбентом (досягається точка роси -20 ° C). Оборотний процес.
Абсорбція	Гліколь	Вода абсорбується в розчин триетиленгліколю.

Технології, що використовуються для осушення в системах збагачення біогазу

Біогаз з реактора: 700 Нм³/год при вологості 100% та охолодження до точки роси 5 °C → 672 кг конденсованої води щодня!

Основні методи збагачення біогазу до біометану

Найбільш розповсюдженими технологіями, що досягли комерційного рівня, є наступні:

1. Адсорбція зі зміною тиску (надалі- “pressure swing adsorption”, PSA).
2. Абсорбція водою (водяний скруббер, надалі- “high pressure water scrubber”, HPWS).
3. Фізична абсорбція органічними сорбентами (органічний фізичний скруббер, надалі- “physical scrubber”, PS).
4. Хімічна абсорбція (амінний скруббер, надалі- “chemical scrubber”, CS).

5. Мембранна сепарація (надалі- “membrane separation”, MS).

6. Кріогенна сепарація (надалі- “cryogenic separation”, CrS).

Ці технології відмічені темнішим кольором

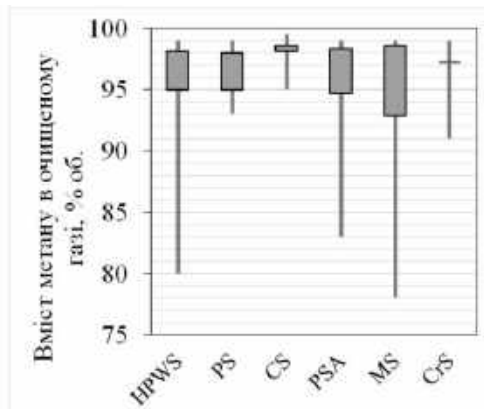


Основні виробничі характеристики технологій збагачення біогазу

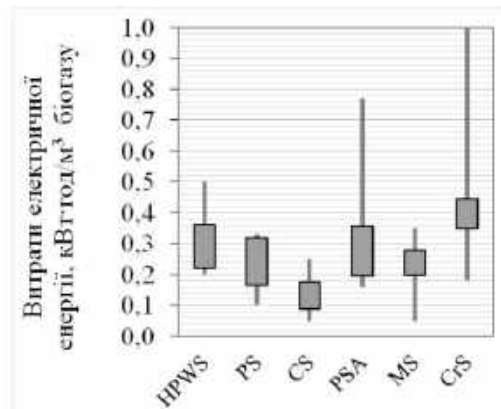
Параметр	PSA	HPWS	PS	CS	MS	CrS
Діапазон продуктивності технології, м³/годину·біометану (м³/годину біогазу)	300-800 (600-1500)	200-1200 (400-2200)	300-1500 (600-2800)	400-2000 (700-3700)	50-500 (100-900)	н/д
Масштаби підприємств	малі, середні	середні, великі	середні, великі	середні, великі	малі, середні	великі
Питома потреба в площі та висота обладнання, (м² площі/м³ біогазу/годину) x м (висоти)	0,18 x 4	0,15 x 12	н/д	0,17 x 12	0,1 x 2,5	0,12 x 3
Частка вловленого метану, % від вмісту в біогазі	98,0	98,0	96,0	99,96	80-99,5	98-99,9
Типовий надлишковий тиск в процесі, МПа	0,1-1	0,4-1	0,4-0,8	0,005-0,4	0,7-2	1-8
Тиск газу на виході, МПа	0,4-0,5	0,7-1	0,13-0,75	0,4-0,5	0,4-0,6	0,8-1
Потреба в тепловій енергії (кВт·год/м³ біогазу) та температурний рівень	–	–	<0,2 70-80 °C	0,5-0,75 120-160 °C	–	–
Необхідність попереднього очищення біогазу	так	реком.	реком.	так	реком.	так
Одночасне вловлювання H ₂ S	можливе	так	можливе	ні (забруднювач)	можливе	так
Одночасне вловлювання N ₂ та O ₂	можливе	ні	ні	ні	частково	так

Основні виробничі характеристики технологій збагачення біогазу

Параметр	PSA	HPWS	PS	CS	MS	CrS
Необхідність обробки відхідних газів	так	так	так	ні	так	так
Необхідність у воді	ні	так	ні	так	ні	ні
Потреба у витратних матеріалах	Активоване вугілля (безпечне)	Засоби для усунення відкладень, осушувачі	Органічний розчинник (безпечний)	Розчин амінів (небезпечний, корозійний)	—	н/д
Допустимі відхилення навантаження, % від ном.	85-115	50-100	50-100	50-100	50-105	н/д

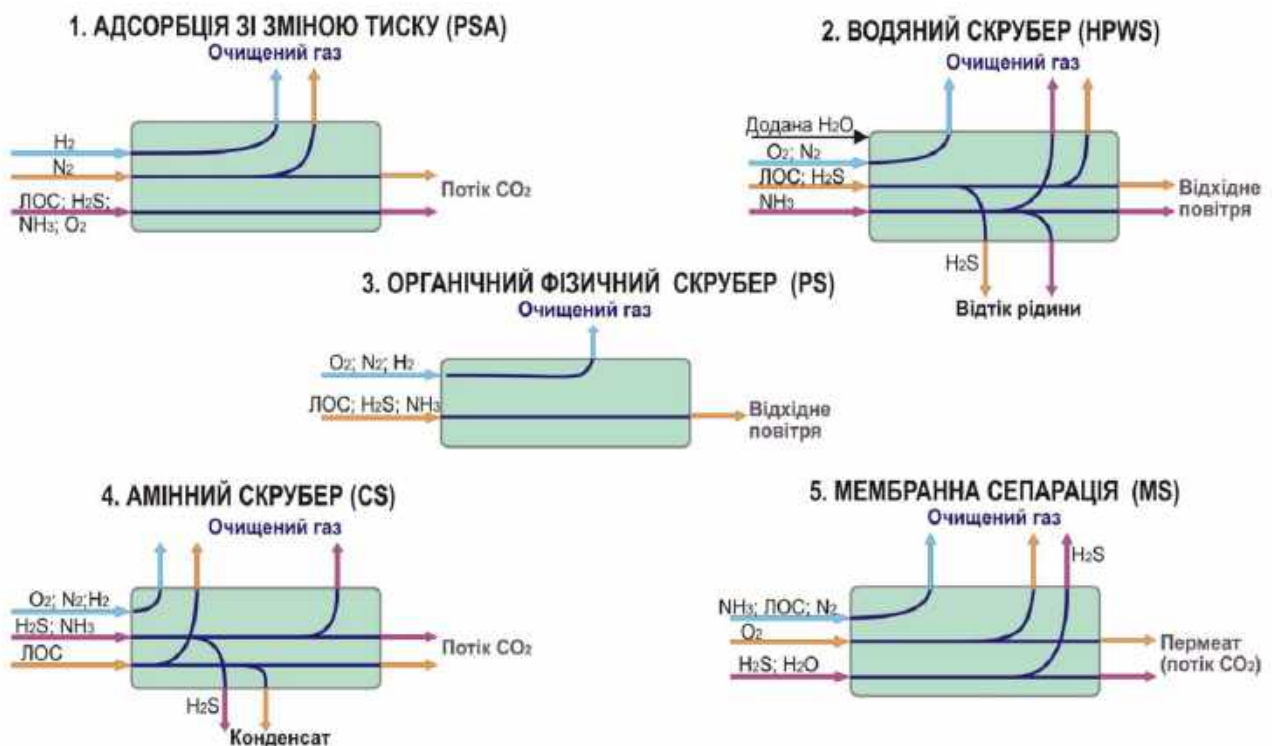


а) ступінь чистоти отриманого біометану



б) питомі витрати електричної енергії

Розподіл потоків основних домішок (крім CO₂)



Вимоги до якості сирого біогазу (допустимі концентрації домішок)

Технологія	H ₂ S	O ₂ , N ₂ , H ₂	ЛОС	NH ₃
PSA	Низькі концентрації	Переходять у потік CO ₂ , H ₂ переходить у очищений продукт	Треба видаляти в сирому біогазі	Треба видаляти в сирому біогазі
HPWS	Помірні концентрації; основна частина переходить у відхідне повітря	Переходять у очищений продукт	Помірні концентрації; основна частина видаляється разом з конденсатом і повітрям десорбера	Помірні концентрації; основна частина видаляється з технологічною водою
CS	Помірні концентрації; основна частина передається в потік CO ₂ ; для очищеного продукту може знадобитися додатковий фільтр очистки	Переходять у очищений продукт	Помірні концентрації; основна частина видаляється з конденсатом і потоком CO ₂	Помірні концентрації; основна частина переходить в потік CO ₂
PS	Помірні концентрації; основна частина переходить у відхідне повітря	Переходять у очищений продукт	Помірні концентрації; основна частина переходить у відхідне повітря	Помірні концентрації; основна частина переходить у відхідне повітря
MS	Низькі концентрації; частково переходить у очищений продукт	Переходять у очищений продукт і в потік CO ₂	Треба видаляти в сирому біогазі	Зазвичай видаляється разом з конденсатом при осушуванні сирого біогазу
CrS	Помірні концентрації; видаляється під час першого етапу охолодження	Переходять у очищений продукт	Від помірних до високих концентрацій; видаляється під час першого етапу охолодження	Від помірних до високих концентрацій; видаляється під час першого етапу охолодження

Переваги та недоліки технологій основного очищення біогазу

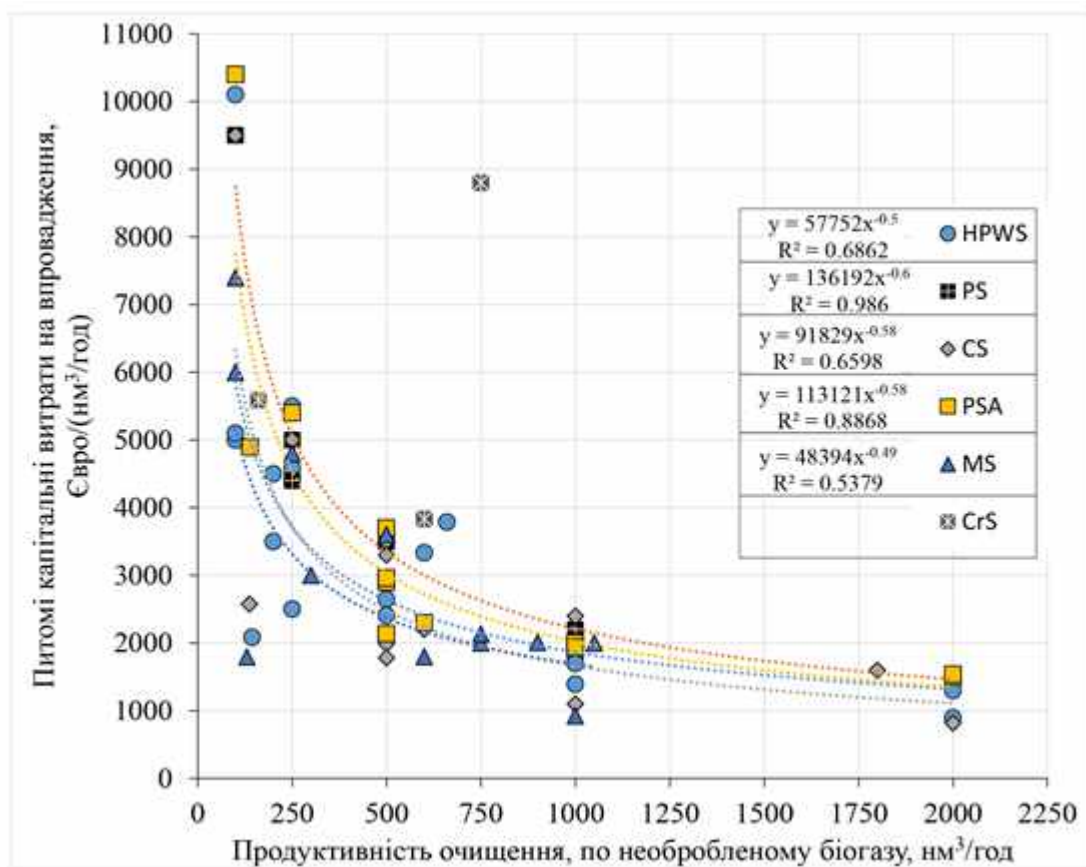
Технологія	Переваги	Недоліки
HPWS	Комбіноване видалення CO ₂ та H ₂ S; низькі втрати метану (<2%); використану воду можна регенерувати; стійкість до домішок; простота в управлінні; відсутність хімікатів.	Низька інтенсивність процесу; можливе засмічення та піноутворення, викликане зростанням мікробної біомаси; можлива корозія, викликана H ₂ S; потрібна велика кількість води навіть за умови її регенерації.
PS	Комбіноване видалення CO ₂ , H ₂ S, HCN, H ₂ O. Низькі втрати CH ₄ ; енергоефективніший процес, ніж у водяному скрубєрі, що вимагає меншої площі для розміщення.	Для невеликих продуктивностей спосіб дорогий; додаткова витрата теплової енергії на регенерацію розчинника; розчинник дорогий і вимагає спеціального поводження.
CS	Висока концентрація CH ₄ в біометані за рахунок високої вибіркової поглинання розчинником; дуже низькі втрати CH ₄ (<0,1%); весь H ₂ S можна видалити за низького тиску; швидкий процес, ніж у водяному скрубєрі, і розчинник легко регенерувати.	Для регенерації розчинника необхідна теплота в кількості 0,4-0,8 кВт·год/м ³ біогазу; розчинник дорогий, вимагає особливого поводження, його не можна зливати в навколишнє середовище; корозія, розкладання розчинника, спінювання, випадання солей.

Переваги та недоліки технологій основного очищення біогазу

Технологія	Переваги	Недоліки
PSA	Комбіноване видалення CO ₂ , N ₂ та O ₂ ; компактна технологія, доступна для невеликих масштабів; швидкий монтаж і запуск; низька потреба в енергії; немає потреби в хімікатах.	Потрібне попереднє видалення H ₂ S і H ₂ O; домішки можуть спричинити забруднення та незручності в роботі; вимагає тонкого настроювання систем регулювання тиску; високі механічні навантаження на обладнання.
MS	Комбіноване видалення CO ₂ , H ₂ S, H ₂ O; масштабування для невеликих установок; послідовним встановленням 2-3 ступенів мембранного очищення можна досягти високої чистоти біометану (>99%); мало рухомих частин, надійна конструкція, не використовуються хімікати; просте обслуговування.	Низька селективність мембран; низький вихід CH ₄ в одностадійному мембранному процесі (для біометану високої чистоти необхідні кілька етапів мембранного очищення); можливі втрати метану (до 10%); після розділення необхідна доочистка біометану від H ₂ S.
CrS	Високий ступінь розділення, отримання CO ₂ високої чистоти, який можна виробляти для подальшого використання; низькі додаткові витрати енергії для виробництва рідкого біометану (bio-LNG); екологічно чистий, без додаткових хімікатів.	Високі інвестиційні, експлуатаційні витрати та витрати на обслуговування; велика потреба в енергії для охолодження; залишки CO ₂ можуть залишатися в CH ₄ , призводячи до поломок на стадії зрідження метану.

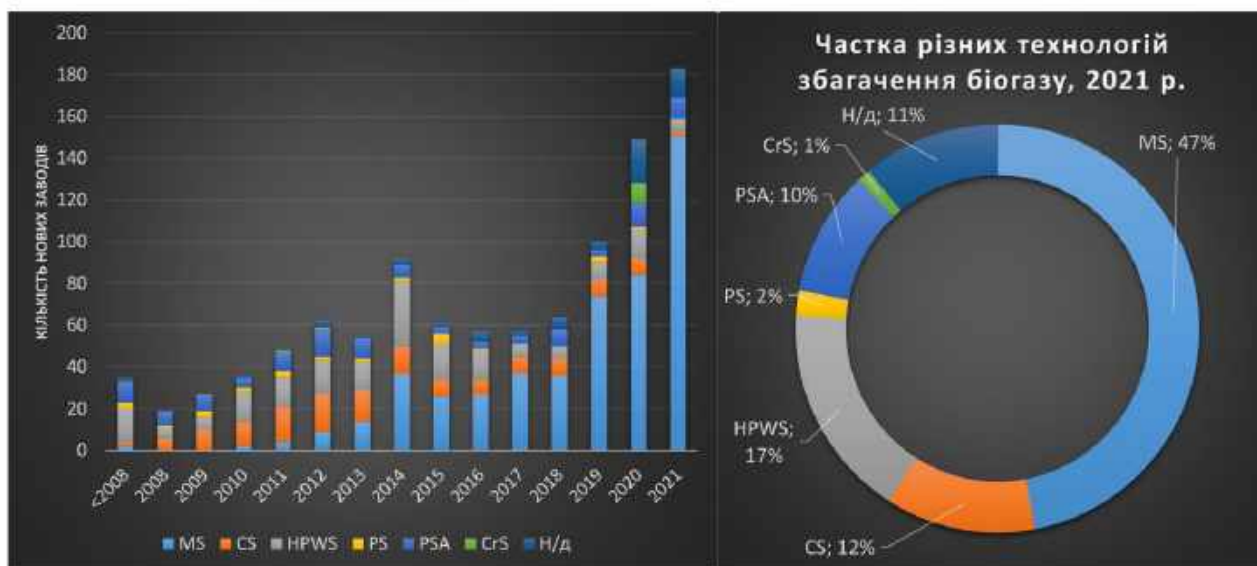
Питомі виробничі витрати для різних технологій, €-цент/м3 біометану

Продуктивність по біометану:	PSA	HPШ5	P5	C5	M5	Cr5
100 м ³ /годину	12,8	14,0	13,8	14,4	10,8-15,8	40,0
250 м ³ /годину	10,1	10,3	10,2	12,0	7,7-11,6	
500 м ³ /годину	9,2	9,1	9,0	11,2	6,5-10,1	



Питомі
капітальні
витрати,
Євро/(нм³/г
од)

Статистика ЄС щодо впровадження різних технологій збагачення біогазу



Мембранні технології зайняли 47% від загального числа установок збагачення біометану в Європі. В 2020 р. цей показник становив 39%

Виробники установок та постачальники технологій збагачення біогазу

Технологія	Назва компанії	Вебсайт
CrS	Gastreatment Services Bv (Gts)	https://www.gtsbv.com
CS	Ammongas	https://www.ammongas.com
CS	HERA Cleantech	https://heracleantech.com
CS	Wartsila	https://www.wartsila.com
CS, MS	Arol Energy	https://www.arol-energy.com/en/membrane-technology/
CS, PSA, MS	Galileo	https://www.galileoar.com
HPWS	Biosling AB	http://biosling.se
HPWS, PSA	DGE GmbH	https://www.dge-wittenberg.de
HPWS, PSA	FirmGreen	https://firmgreen.com
HPWS, PSA, MS	Greenlane Renewables	https://greenlanerenewables.com
MS	AB IMPIANTI S.r.l.	https://www.gruppoab.com
MS	AgriKomp	https://agrikomp.com
MS	Air Liquide	https://energies.airliquide.com
MS	Air Products	https://www.airproducts.co.uk
MS	Bright	https://www.bright-rng.com
MS	DMT	https://www.dmt-et.com
MS	EcoProtech	https://ecoprotech.fi
MS	Eneraque	https://eneraque.com
MS	EnviTec Biogas	https://www.envitec-biogas.com

Технологія	Назва компанії	Вебсайт
MS	ESI	https://www.esisolutions.com
MS	FNX	https://fnxlng.com
MS	Gastechnik Himmel (GTH)	https://gt-himmel.com
MS	Guild associates	https://www.guildassociates.com
MS	Himmel	https://gt-himmel.com
MS	Hitachi Zosen Inova	https://www.hz-inova.com
MS	LATEC	https://latecsrl.it
MS	MEGA	https://www.mega.cz
MS	Nacelle	https://nacellesolutions.com
MS	Pentair	https://foodandbeverage.pentair.com
MS	Prodeval	https://www.prodeval.com
MS	Rovi Energie	https://www.rovi-energie.com
MS	Siga-Tech	http://www.sigatech.pl
MS	TECNO PROJECT INDUSTRIALE	https://www.tecnoproject.com
PS	Gm Green Methane S.R.L.	https://www.greenmethane.it
PS	Schwelm Anlagentechnik GmbH	https://www.schwelm-at.de
PSA	Carbotech	https://ct-gs.com
PSA	ETW Energietechnik	https://etw-energie.de
PSA	Mahler AGS	https://www.mahler-ags.com
PSA	Xebec	https://xebecinc.com
VSA	Sysadvance	https://sysadvance.com

Висновки (збагачення біогазу до біометану)

Наведені дані показують, що немає значної різниці в інвестиційних витратах між різними технологіями збагачення біогазу (крім технології криогенної сепарації, що є відчутно дорожчою). Енергоспоживання також досить однакове для різних технологій. у Тому при виборі технології збагачення біогазу важливо враховувати інші аспекти, зокрема, його походження (біогаз, звалищний газ), використана сировина, наявність тих чи інших домішок у складі біогазу та здатність різних технологій їх видаляти, особливі вимоги до якості біометану, необхідність запобігати його викидам в атмосферу, умови впровадження (наявність виробничої площі, доступність води, хімічних реагентів), необхідний тиск біометану на виході з установки, тощо.

у Досить широкі діапазони технологічних показників, що зустрічаються в літературі, показують необхідність аналізу конкретних пропозицій

постачальників технологій збагачення біогазу та порівняння значень показників, що гарантують постачальники при застосуванні їх обладнання.

В умовах України більш актуальними для збагачення біогазу можуть бути технології PSA та MS з огляду на відсутність потреби у воді та хімічних речовинах, можливість застосування в тому числі на невеликих біогазових станціях, а також на перспективу подальшого вдосконалення цих технологій. Крім того, досі перспективною може бути технологія HPWS завдяки її простоті та відносно невеликим капітальним витратам.

Для всіх застосованих технологій необхідне очищення відхідних газів від залишків метану, що є сильним парниковим газом. Досягнення менших питомих викидів парникових газів на одиницю енергії виробленого біометану покращує умови його можливого експорту, зменшує вплив на оточуюче середовище.

ЛЕКЦІЯ 7

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

1. Умови застосування та вимоги до дизельних палив.
2. Фізико-хімічні властивості дизельних палив.
3. Стандартні показники дизельних палив та їх оцінка.
4. Експлуатаційні властивості альтернативних палив для дизелів

Основним паливом для дизелів є рідке дизельне паливо, що являє собою суміш різних вуглеводнів. Дизельне паливо за фізико-механічними та експлуатаційними показниками суттєво відрізняється від бензинів. До складу дизельного палива входять: парафінові (10...40%), нафтові (20...60%), ароматичні (14...30%), та їх похідні. Середня молекулярна маса – 110...230. фракційний склад значно «важчий» за бензиновий – початок кипіння 170°C , а кінець $350...380^{\circ}$. Температура спалаху $35...80^{\circ}$, теплота пароутворення – $234...270\text{ кДж/кг}$. Питома теплота згоряння – 42600 кДж/кг (дещо нижча за бензин). Незважаючи на «важкий» фракційний склад, густину ($780...860\text{ кг/м}^3$), кінематичну в'язкість ($\nu_{20}^{\circ}\text{C} = 1.8 \dots 6.0\text{ мм}^2/\text{сек}$) та ін. питомі експлуатаційні показники дизельних двигунів вищі від двигунів з примусовим запалюванням (питома витрата палива на 25...30% нижче). Це стало можливим за рахунок специфічної підготовки пальної суміші та процесу запалювання, а також конструкції ЦПГ (суттєве підвищення ступеню стиску). Проте, процес дизеля значно жорсткіший. Процес згоряння (впорскування $\rightarrow$ випаровування $\rightarrow$ змішування $\rightarrow$ згоряння) проходить за дуже обмежений час – $0.002 \dots 0.003\text{ сек}$, що в 10...15 разів швидше ніж у карбюраторному двигуні.

Для забезпечення надійної, економічної та довгострокової роботи дизеля (повне згоряння, незначна швидкість нагароутворення у ЦПГ та зношування), паливо повинне відповідати певним вимогам:

- надійна прокачувальна здатність для безперебійної та надійної роботи паливного насосу високого тиску (мати оптимальну в'язкість, необхідні та достатні низькотемпературні властивості, відсутність води і механічних домішок);
- забезпечити «тонке» розпилювання та високу ступінь сумішоутворення, що можливе при оптимальній в'язкості та фракційного складу;
- повністю згоряти не утворюючи твердого вуглецю;
- не утворювати твердого нагару на клапанах, кільцях, поршнях, форсунках, розпилювачах (залежить від хімічного та фракційного складу, ретельності очистки палива);
- не кородувати з паливопроводами та іншими деталями системи живлення (залежить від кількості сірчаних з'єднань, органічних та мінеральних кислот, води);
- при згорянні виділяти максимальну кількість теплоти та мати високу хімічну і фізичну стабільність.

Відповідно до ДСТУ 7688:2015 промисловість України виробляє дизельне паливо (Табл.1) трьох марок:

КЛАСИФІКАЦІЯ

За кліматичними умовами використання встановлено такі марки дизельного палива:

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

З — зимове, що використовують за температури повітря від 5 °С до мінус 20 °С;

Арк — арктичне, що використовують за температури повітря нижче ніж мінус 20 °С.

За рівнем екологічної безпеки встановлено такі екологічні класи дизельного палива: Євро3, Євро4, Євроб.

Примітка. Кінцевий термін введення в обіг дизельного палива певного

екологічного класу — згідно з Технічним регламентом.

Умовна познака дизельного палива

Умовна познака дизельного палива має містити:

- літери ДП (позначення дизельного палива);
- літерне позначення марки (Л, З, Арк);
- символ екологічного класу (Євро3, Євро4, Євро5);
- символ визначення вмісту (об'ємної частки) метилових/етилових естерів жирних кислот (В0 — у разі їх відсутності; В5 — не більше ніж 5 %; В7 — понад 5 % та не більше ніж 7 %).

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

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

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

Приклад позначки дизельного палива торгової марки «XXX» арктичного екологічного класу

Євро3 без вмісту метилових/етилових естерів жирних кислот:

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

Цетанове число (ЦЧ) – це показник, який характеризує самозаймистість дизельного палива. ЦЧ дорівнює процентному вмісту (за об'ємом) цетану ($C_{16}H_{32}$) в такій суміші з альфаметилнафталіном ($C_{10}H_7CH_3$), що рівноцінна даному паливу за самозаймистістю при випробуванні в стандартних умовах. Визначають цетанове число на спеціальних установках (одноциліндровий дизельний двигун зі змінним ступенем стиску у межах 7...23) методами: критичного ступеню стиску, запізненням самозаймання, збігу спалахів. Найбільш поширений – метод збігу спалахів, який полягає у наступному:

1. Підвищують ступінь стиску до тих пір, доки впрорснуте паливо за 13^0 до ВМТ займеться рівно у положенні поршня ВМТ.

2. Підбирають суміш цетану і альфаметилнафталіну в такому співвідношенні, щоб самозаймистість її (при впорскуванні за 13⁰ до ВМТ) відбулася рівно в положенні поршня ВМТ. При цьому ЦЧ цетану (н-гексадекан) прийнято за 100 од., а альфаметилнафталіну за 0 од. Таким чином, вміст цетану у визначеній суміші у відсотках за об'ємом і приймають за цетанове число.

Для сучасних дизелів оптимальне значення ЦЧ – 40...50 одиниць. При використанні дизельного палива з ЦЧ менше 40 од. дизель працює «жорстко», більше 50 од. – питома витрата палива збільшується за рахунок неповного його згоряння.

ЦЧ залежить від вуглеводневого складу, структури і молекулярної маси палива. Знаючи груповий вуглеводневий склад палива можна визначити його ЦЧ:

$$\text{ЦЧ} = 0.85 \text{ П} + 0.1 \text{ Н} + 0.2 \text{ А},$$

де: П, Н, А – відповідно у відсотках вміст парафінових, нафтонових, ароматичних вуглеводнів.

До промислових методів підвищення ЦЧ відносять: регулювання вуглеводневого складу, введення спеціальних присадок. Використовуючи перший метод необхідно враховувати, що з вуглеводнів парафінової групи найменше значення ЦЧ має н-декан (77 од.), а найбільше – цетан (100 од.), з нафтонових вуглеводнів – декалін (48 од.), метилдіпропілдекалінметан (21 од.), з ароматичних – альфаметилнафталін (0 од.), альфаоктилнафталін (18 од.).

ЦЧ дизельних палив без присадок можна визначити за формулою:

$$\text{ЦЧ} = (\sqrt[4]{\nu_{20}} + 17.8) * 1.5879 / \rho_4^{20} .,$$

де: $\sqrt[4]{\nu_{20}}$ – в'язкість при 20⁰ С,

ρ_4^{20} – відносна густина при 20⁰.

Октанове та цетанове число вуглеводневих палив пов'язані між собою залежністю:

$$\text{ЦЧ} = 60 - \text{ОЧ} / 2.$$

Таблиця 7.1- Характеристики дизельних палив за ДСТУ 7688:2015

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	З	Арк	
1 Цетанове число, не менше	51	49	48	Згідно з ГОСТ 3122 або ДСТУ ISO 5165 та ДСТУ-Н 7622, або ASTM D613 [1], або EN 15195 [2], або EN 16144 [3]
2 Цетановий індекс, не менше	46,0			Згідно з ДСТУ ISO 4264 або ГОСТ 27768 та 9.3, або ASTM D4737 [4]
3 Густина за температури 15 °С, кг/м ³ , у межах	820—845	800—845	800—840	Згідно з ДСТУ EN ISO 3675 або ДСТУ ISO 12185, або ДСТУ ГОСТ 31072, або ASTM D1298 [5], або ASTM D4052 [6]
Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	З	Арк	
4 Масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів, %, не більше: Євро5 Євро4 Євро3	8 11 11			Згідно з ДСТУ EN 12916 ¹⁾ або EN 12916 ²⁾ [7]
5 Вміст сірки, мг/кг, не більше Євро5 Євро4 Євро3	10 50 350			Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO 20846 ²⁾ , або EN ISO 20846 [8], або EN ISO 13032 [9] Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO 20847 ²⁾ , або ДСТУ ISO 20846 ²⁾ , або ДСТУ EN ISO 14596 ¹⁾ , або ASTM D4294 [10], EN ISO 20846 [8], або EN ISO 13032 [9] Згідно з ДСТУ EN ISO 20884 або ДСТУ ISO 20846 ²⁾ , або ДСТУ ISO 20847 ²⁾ , або ДСТУ EN ISO 14596 ¹⁾ , або ДСТУ ISO 8754 ¹⁾ , або ГОСТ 19121 ¹⁾ , або ASTM D4294 [10]
6 Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче Євро5 Євро4 Євро3	55 55 40			Згідно з ДСТУ ISO 2719 або ГОСТ 6356, або ASTM D93 [11]
7 Коксованість 10-відсоткового залишку, % (мас.), не більше	0,30			Згідно з ДСТУ EN ISO 10370 або ГОСТ 8852, або ГОСТ 19932, або ASTM D189 [12], або ASTM D524 [13], або EN ISO 10370 [14]

8 Зольність, % (мас.), не більше	0,01			Згідно з ДСТУ EN ISO 6245 або ГОСТ 1461, або ASTM D482 [15]
9 Масова частка води, % (мг/кг), не більше	0,02 (200)			Згідно з ДСТУ ISO 12937 або ГОСТ 2477
10 Масова частка домішок, мг/кг, не більше	24			Згідно з ДСТУ EN 12662 або ГОСТ 6370
11 Корозія мідної пластинки (3 год за температури 50 °С), клас, не більше	1			Згідно з ДСТУ EN ISO 2160 або ГОСТ 6321, або ASTM D130 [16]
12 Окиснювальна стабільність: — г/м ³ , не більше або — год, не менше	25 20			Згідно з ДСТУ ISO 12205 або ДСТУ 7684, або ASTM D2274 [17] Згідно з EN 15751 [18]
13 Змащувальна здатність: діаметр плями зносу за темпе- ратури 60 °С, мкм, не більше	460			Згідно з ДСТУ ISO 12156-1
14 Кінематична в'язкість за температури 40 °С, мм ² /с, у межах	2,00—4,50	1,50—4,00	1,50—4,00	Згідно з ДСТУ ГОСТ 33 або ASTM D445 [19], або EN ISO 3104 [20]

Назва показника	Значення для марок			Метод контролювання
	Л	З	Арх	
15 Фракційний склад: — за температури 250 °С, випаровується, % (об.), не більше — за температури 350 °С, випаровується, % (об.), не менше — 95 % (об.) переганяється за температури, °С, не вище	65 85 360			Згідно з ГОСТ 2177 (метод А), або ДСТУ ISO 3924, або EN ISO 3405 [21], або ASTM D86 [22]
16 Об'ємна частка метилових/ етилових естерів жирних кислот, %: — для дизельних палив В0 — для дизельних палив В5 — для дизельних палив В7	0 Не більше ніж 5 Понад 5 та не більше ніж 7			Згідно з ДСТУ EN 14078 ³⁾ або EN 14078 [23]
17 Гранична температура фільтрованості, °С, не вище	– 5	– 20	– 30	Згідно з ДСТУ EN 116 або ГОСТ 22254, або EN 16329 [24]
18 Температура помутніння, °С, не вище	—	—	– 20	Згідно з ГОСТ 5066 (метод Б) або ДСТУ ISO 3015, або ASTM D2500 [25]
19 Вміст марганцю, мг/дм ³ , не більше	—	—	2,0	Згідно з EN 16576 [26]

1) Метод застосовують для дизельних палив, що не містять метилових/етилових естерів жирних кислот. 2) Метод застосовують для дизельних палив з вмістом метилових/етилових естерів жирних кислот не більше ніж 5 %. 3) Можливе застосування методу для визначення вмісту етилових естерів жирних кислот до розроблення відповідного національного стандарту на метод визначення етилових естерів у середніх дистилатах. Примітка 1. Вимоги до показників 1, 4, 5, 6, 13, 15, 16, 17 відповідають Технічному регламенту. Примітка 2. У разі розбіжностей щодо якості дизельного палива арбітражним методом є метод, зазначений першим у колонці «Метод контролювання». Примітка 3. Методи контролювання згідно з ASTM D, EN ISO, EN застосовують під час контролювання дизельного палива, що постачають на експорт за межі України. У цьому разі арбітражні методи за цими показниками має бути визначено у договорі на постачання продукції. Примітка 4. Дизельне паливо для потреб Міністерства оборони України за показником 6 має значення «не нижче ніж 62 °С». Примітка 5. Показник 16 визначають у разі додавання в дизельне паливо метилових/ етилових естерів жирних кислот.

Суттєвий вплив на роботу дизеля має фракційний склад дизельного палива. Цей показник нормується (так як і ЦЧ) і повинен мати цілком певні значення. Температура википання 50% палива ($t_{50\%}$) для літніх і зимових сортів повинна не перевищувати 280° С., а температура википання 96% ($t_{96\%}$) – не вище 360° С, а для зимових – не вище 340° С.

«Важкий» фракційний склад зумовлює: несвоєчасне самозаймання, неповне згоряння, змивання моторної оливи зі стінок циліндрів, інтенсивне нагароутворення на деталях ЦПГ, розрідження моторної оливи в картері двигуна, важкий пуск. При використанні палива «легкого» фракційного складу самозаймистість полегшується (пуск двигуна поліпшується), але двигун при цьому працює «жорстко», що призводить до зменшення його ресурсу. Фракційний склад у більшій мірі впливає на легкість пуску дизелі, аніж ЦЧ.

До основних експлуатаційних показників відносяться також температура помутніння, і застигання дизельного палива. **Температура помутніння** (кристалізації) – це температура при охолодженні до якої паливо втрачає прозорість. За **температуру застигання** прийнята температура, за якої дизельне паливо у нахиленій горизонтально пробірці залишається нерухомим протягом 5 секунд. Температура помутніння повинна бути на 5...10°С вищою за температуру застигання. При експлуатації дизелів при низьких температурах температура повітря повинна бути на 10...15° С вищою за температуру застигання палива.

Корозійні властивості дизельного палива оцінюють за наявністю водорозчинних кислот та лугів, органічних кислот та сірчастих з'єднань. Вміст

органічних кислот обмежується показником – **кислотність**. Відповідно до «нормативу» кислотність дизельних палив не повинна перевищувати 5мгКОН/100 мл. Вирішальною дією з точки зору корозійної активності дизельних палив є вміст сірчастих сполук. Загальна кількість сірки, яка міститься у дизельному паливі суттєво впливає на роботоздатність дизеля. Так, спрацювання плунжерних пар паливного насосу при роботі на паливі з вмістом 0,025% меркаптанової сірки майже удвічі більше ніж при використанні палива без меркаптанів. При збільшенні сірки у паливі з 0,2 до 0,5% інтенсивність зношування поршневих кілець підвищується у двічі. Вміст сірчистих з'єднань у паливах залежить від сировини. Використання у переробці високосірчистих нафт призводить до значного вмісту сірки у паливах. Ретельне видалення сірки з нафти підвищує собівартість палива. Економічно вигідно, для зменшення корозійності палива додавати до їх складу спеціальні присадки, такі як нафтенат цинку (0,25...0,30%). При згоряння палива з присадкою утворюється оксид цинку, який взаємодіє з оксидами сірки і зв'язує їх в сульфоз'єднання ($ZnSO_4$). Найбільш реальним способом боротьби із сірчаною корозією є правильний підбір для кожного типу двигуна моторної оливи з композицією присадок. Всі моторні оливи виробляються з присадками, але їх кількість та ефективність різна. Тому, в залежності від ступеню форсованості двигуна, сорту та якості палива (головне - вміст у ньому сірки) необхідно використовувати відповідну оливу, а також дотримуватися термінів його заміни. В таких випадках навіть при використанні сірчаних палив забезпечується суттєве зниження корозійного зношування та підвищується надійність роботи двигуна.

За прогнозами світових запасів нафти вистачить приблизно на 40-50 років. Цей факт, у першу чергу, призводить до значної зацікавленості у виробництві альтернативних палив, як у постійно відновлюваної енергетичної одиниці. На сьогодні найбільш ефективними при використанні в ДВЗ можуть бути рослинні олії (соєва, соняшникова, ріпакова), спирти та ефіри.

Для дизелів найбільш пристосована ріпакова олія та ефіри. Використання палива отриманого з рослинної сировини можливе двома шляхами: естерифікацією рослинних олій до кондиції дизельного палива, модифікуванням дизеля таким чином, щоб при згорянні сирої олії в ньому не утворювався нагар.

Пристосувати сучасні двигуни до ріпакової олії значно важче ніж використати перший шлях. Тому, як паливо для дизелів використовують не чисту олію, а суміш з дизельним паливом, або ріпаково-метиловий ефір (РМЕ). Питома теплота згоряння ріпакової олії – 34000 кДж/кг, температура застигання – (-10^0 С), температура кипіння – 325^0 С. використання ріпакової (чистої) олії в дизелях з прямим впорскуванням неефективно у зв'язку з неповним її згорянням та утворенням значної кількості нагару. РМЕ найбільш близький за експлуатаційними властивостями до дизельного палива. РМЕ отримують змішуванням ріпакової олії (100%), метилового спирту (13%), лугу КОН (або NaOH) – 1,5% з подальшим відстоюванням та фільтруванням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення./ Упор. В.Я.Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 500с.
2. «Паливо-мастильні та інші експлуатаційні матеріали» [Текст]: лекції для студентів 2 курсу зі спеціальності 5.10010201 «Агроінженерія», денної форми навчання/ уклад. А.В. Хомич – Любешів: Любешівський технічний коледж Луцького НТУ, 2018. – с. 37
3. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали : [Підручник] / А. І. Окоча, Я. Ю. Білоконь.– К. : Український Центр духовної культури, 2004.– 448 с. : іл.
4. Окоча А.І. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: навчальний посібник / А.І. Окоча, О.Т. Лавріненко, Я.Ю. Білоконь. – Київ: ЦП «Компринт», 2017. – 344 с. 4. Окоча А.І., Білоконь Я.Ю. Паливно-мастильні та інші витратні матеріали: Довідник. - Київ: Вид-во ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. - 201 с.
5. Кюрчев В. М. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: навч. посібник / В. М. Кюрчев. — Мелітополь: ТДАТА, 2003. — 206 с.
6. Полянський С.К., Коваленко В.М., Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин: Підручник.-К.:Либидь, 2005.- 504с.
7. Бензини автомобільні Євро. Технічні умови. ДСТУ 7687:2015. Видання офіційне. Київ ДП «УкрНДНЦ», 2015.
8. Паливо дизельне Євро. Технічні умови. ДСТУ 7688:2015. Видання офіційне. Київ ДП «УкрНДНЦ», 2015.
9. Сукач М.К. Автомобільні експлуатаційні матеріали. Паливно-мастильні матеріали та спеціальні рідини/ М. К. Сукач та інші.- Київ, 2006. - 256с

- 10.. Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали : навч.-метод. комплекс : навч.-метод. посіб. для студентів, магістрів і наук.-пед. працівників інж. спец. аграр. ВНЗ / І. М. Бендера, В. І. Дуганець, М. І. Кизима, С. Й. Ковалишин, В. П. Кувачов; Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т, Тавр. держ. агротехнол. ун-т, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, Львів. нац. аграр. унт. — Кам'янець-Подільський : Сисин Я. І. : Абетка, 2016. — 419 с. — Бібліогр.: с. 418
- 11.ДСТУ 7687:2015 Бензини автомобільні Євро. Технічні умови
12. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови

СОКОЛІК СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ
ШУЛЯК МИХАЙЛО ЛЕОНІДОВИЧ
БАТЮК ЛЮДМИЛА МИКОЛАЇВНА

ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ І СИСТЕМИ ФІЛЬТРАЦІЇ

Конспект лекцій

Частина 1

**для здобувачів вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

Суми, РВВ, Сумський НАУ, вул. Герасима Кондратьєва, 160

Підписано до друку: „__”_____2024 р. Тираж 150 прим.

Гарнітура. Times New Roman.

Формат А5. Умовн. друк. арк. 2 Замовл._____.
