

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**А. П. Поляков, О. О. Галушак, Д. О. Галушак**

**ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНОГО  
РЕГУЛЮВАННЯ ВІДСОТКОВОГО СКЛАДУ  
СУМІШІ ПАЛИВ НА ДИЗЕЛЯХ  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2015

УДК 621.436

ББК 39.333.54

П54

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 8 від 26.03.2015 р.)

Рецензенти:

**В. Ф. Анісімов**, доктор технічних наук, професор

**І. О. Сивак**, доктор технічних наук, професор

**Поляков, А. П.**  
П54 Використання динамічного регулювання відсоткового складу суміші палив на дизелях транспортних засобів : монографія / А. П. Поляков, О. О. Галушак, Д. О. Галушак. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 92 с.

ISBN 978-966-641-623-3

В монографії розглядаються питання покращення показників транспортних засобів при використанні суміші палив з динамічним регулюванням її відсоткового складу. Запропоновано систему живлення дизеля та розроблено алгоритм її управління при переведенні дизеля на роботу сумішшю дизельного та біодизельного палив з динамічним регулюванням її відсоткового складу. Розроблено математичну модель системи «Автомобіль з дизельним двигуном–дорога–навколишнє середовище».

**УДК 621.436**  
**ББК 39.333.54**

**ISBN 978-966-641-623-3**

© А. Поляков, О. Галушак, Д. Галушак, 2015

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
Розділ 1	
АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ .....	7
1.1 Експлуатаційні та екологічні показники транспортних засобів.....	7
1.2 Фактори, що впливають на експлуатаційні та екологічні показники транспортних засобів, шляхи їх покращення.....	10
1.3 Аналіз альтернативних видів палив та біодизельного палива як перспективного для двигунів транспортних засобів .....	12
1.4 Вплив на екологічні показники транспортних засобів використання біодизельного палива .....	25
Розділ 2	
АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУМІШІ ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	28
Розділ 3	
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ УПРАВЛІН- НЯ РОБОЧИМИ ПРОЦЕСАМИ ДИЗЕЛЯ ПРИ ПЕРЕ- ВЕДЕННІ ЙОГО НА РОБОТУ НА БІОДИЗЕЛЬНОМУ ПАЛИВІ.....	34
3.1 Визначення оптимального кута випередження впорскування палива.....	35
3.2 Визначення впливу параметрів горіння на циклову подачу.....	39
3.3 Теоретичні засади розробки алгоритму управління дизельним двигуном при переведенні його на роботу на біодизельному паливі.....	40

## Розділ 4

РОЗРОБКА МЕТОДІВ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТ- НИХ ЗАСОБІВ.....	44
4.1 Алгоритм управління системою живлення дизеля при переведенні його на роботу на суміші дизельного та біодизельного палив з динамічним корегуванням його відсоткового вмісту в суміші.....	44
4.2 Розробка математичної моделі системи «Автомобіль з дизельним двигуном–дорога– навколишнє середовище».....	50
4.2.1 Задачі дослідження.....	50
4.2.2 Вибір структури моделі досліджуваної системи «Автомобіль з дизельним двигуном–дорога– навколишнє середовище».....	51
4.2.3 Математична модель системи «Автомобіль з дизельним двигуном–дорога–навколишнє середовище» .....	56
4.2.4 Рівняння математичної моделі системи «Автомобіль з дизельним двигуном–дорога– навколишнє середовище» .....	58

## Розділ 5

РОЗРОБКА МАКЕТУ ДОСЛІДНО- ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ПЕРЕВЕДЕННЯ ДИЗЕЛЯ НА РОБОТУ НА СУМІШІ ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВ.....	67
5.1 Установки й устаткування макету дослідно- експериментальної установки переведення дизеля на роботу на суміші дизельного та біодизельного па- лив. Вимірювальна апаратура.....	67
5.2 Методики проведення експериментальних досліджень на моторних стендах.....	74

5.2.1	Методика проведення експериментальних досліджень для визначення навантажувальних характеристик при роботі на різних типах палива.....	76
5.2.2	Методика проведення експериментальних досліджень для вимірювань димності відпрацьованих газів при роботі на різних типах палива.....	78
Розділ 6		
	ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ «АВТОМОБІЛЬ З ДИЗЕЛЬНИМ ДВИГУНОМ–ДОРОГА– НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ».....	79
6.1	Мета і задачі дослідження.....	79
6.2	Об’єкти експериментальних досліджень. Установки й устаткування для експериментальних досліджень.....	79
	ВИСНОВКИ.....	87
	ЛІТЕРАТУРА.....	89

## ВСТУП

Автомобільний транспорт має значні переваги перед іншими видами транспорту і, завдяки своїй маневреності та високій прохідності, забезпечує тісний зв'язок з усіма іншими видами транспорту. Масове використання транспортних засобів призвело до збільшення споживання традиційних нафтових палив та стало причиною значного погіршення екологічного стану навколишнього середовища. Тому покращення експлуатаційних та екологічних показників транспортних засобів є досить актуальним питанням сьогодення.

Одним із способів вирішення цього питання є використання альтернативних палив, що дає змогу покращити експлуатаційні та екологічні показники транспортних засобів, а також зменшити залежність від традиційних нафтових палив викопного походження. Для автомобілів з дизельними двигунами на сьогоднішній день найбільш перспективним є БП.

Проте використання біодизельного палива (БП) здійснює вплив на надійність двигуна та технічні показники автомобіля, що обумовлено відмінними від дизельного палива (ДП) фізико-хімічними властивостями. Вирішити цю проблему можна внесенням змін в конструкцію двигуна або використанням суміші БП та ДП.

Метою роботи є підвищення експлуатаційних та екологічних показників транспортних засобів. Для досягнення мети вирішено такі задачі: проведено аналіз факторів, що впливають на експлуатаційні та екологічні показники транспортних засобів; проведено аналіз впливу властивостей суміші ДП та БП на показники роботи двигунів транспортних засобів; розроблено теоретичні основи організації управління робочими процесами дизеля при переведенні його на роботу на БП; розроблено алгоритм управління системою живлення дизеля при переведенні його на роботу на суміші ДП та БП з динамічним корегуванням його відсоткового вмісту в суміші; розроблено математичну модель системи «Автомобіль з дизельним двигуном–дорога–навколишнє середовище» для дослідження зміни експлуатаційних та екологічних показників транспортних засобів при роботі дизеля на суміші ДП та БП з динамічним корегуванням його відсоткового вмісту в суміші.

**РОЗДІЛ 1**  
**АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ**  
**НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ**  
**ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**1.1 Експлуатаційні та екологічні показники транспортних засобів**

Основними експлуатаційними показниками транспортних засобів є: динамічність, стійкість, керованість, прохідність, плавність та паливна економічність.

Динамічність – властивість автомобіля рухатися з максимально можливою середньою швидкістю, яка характеризується максимальною швидкістю руху, інтенсивністю розгону до заданої швидкості та інтенсивністю гальмування. Насамперед динамічність автомобіля залежить від його тягових і гальмівних властивостей.

Під стійкістю автомобіля розуміють його властивості витримувати заданий напрямок руху в будь-яких дорожніх умовах, протистояти заносу, ковзанню та перекиданню. Стійкість залежить від конструктивних параметрів автомобіля і вміння водія правильно керувати ним під час руху.

Керованість автомобіля – це здатність забезпечувати рух у заданому напрямку і рухатись по траєкторії, яка задається поворотом керма. Вона оцінюється за такими ознаками: критична швидкість руху, керованість, співвідношення кутів повороту коліс, стабілізація керованих коліс, кутові коливання.

Критичною швидкістю, за умовами керованості, називають швидкість, з якою автомобіль може рухатись на повороті без поперечного ковзання коліс. До факторів, які впливають на порушення керованості належать: нерівності дорожнього покриття, поперечний нахил дороги, пробуксовування одного з ведучих коліс, яке потрапило на ділянку зі зниженим коефіцієнтом зчеплення або на ділянку з підвищеним опором кочення.

Прохідність автомобіля – це експлуатаційно-технічна властивість, яка визначає його здатність рухатися в навантаженому стані по нерівній і важко прохідній місцевості, не торкаючись нерівностей своїм

нижнім контуром. Прохідність автомобіля характеризується двома групами показників – геометричними та опорно-зчіпними. Перша характеризується можливістю торкання нерівностей частинами автомобіля, а друга – можливістю руху по важко прохідних ділянках доріг і бездоріжжю.

Паливна економічність – експлуатаційна характеристика автомобіля, яка полягає в його здатності працювати в різних умовах експлуатації з мінімальними витратами пального. Оскільки вартість пального становить від 10 до 15 % усіх витрат на експлуатацію автомобіля, то необхідно витратити пальне з максимальною ефективністю. Показником паливної економічності є витрата пального в літрах на 100 км пройденого шляху.

Вирішальним фактором ефективних витрат пального є технічний стан двигуна. Будь-яка несправність паливної системи чи системи запалювання може викликати підвищені витрати пального. Так, наприклад, неправильно виставлений кут запалювання збільшує витрати пального на 20–25 %, несправна свічка запалювання двигуна – на 10–15 %, несправність економайзера – на 5–10 %, крім того несправність інших систем теж впливають на витрати пального, наприклад несправність гальмових механізмів або неправильне їх регулювання збільшує витрати пального на 12 %. Великий вплив на паливну економічність має технічний стан агрегатів трансмісії: неправильно відрегульоване сходження передніх коліс, знижений тиск у шинах, перезатягнення підшипників коліс спричиняють додаткову витрату пального.

Аналіз шляхів зменшення витрати пального показав, що значним резервом економії пального є аеродинаміка автомобіля: додаткові фари перед облицьовуванням радіатора автомобіля, розміщений зверху багажник і особливо вантаж на ньому збільшують коефіцієнт лобового опору, а отже, й витрати пального.

Режим економного керування автомобілем залежно від умов експлуатації може забезпечувати значне зменшення витрат пального (до 25 %). Зокрема, ефективність пуску, прогрівання, рушання з місця, а також підтримання оптимального теплового режиму забезпечують близько 5 % економії пального. Оптимальний вибір режимів руху дає 20 % економію пального, а саме:



- рух автомобіля на прямій передачі з рівномірною швидкістю не вище 65 % від її максимального значення;
- забезпечення прискорення в межах 0,9–1,5 м/с<sup>2</sup> і уповільнення 1,1–1,4 м/с<sup>2</sup>;
- перемикання передач при частоті обертання колінчастого валу 60–75 % від максимальної;
- максимальне використання руху накатом для уповільнення чи зупинки (забезпечує економію пального 2,5–3,0 %);
- гальмування двигуном;
- раціональне подолання підйомів (економія 8–12 %);
- раціональний рух на спусках (економія 3–5 %);
- ефективна робота двигуна на режимах холостого ходу (економія 1 %).

За умов стабільного швидкісного режиму витрачається на 10–15 % менше пального порівняно з рухом із змінною швидкістю, різкими розгонами та гальмуваннями. Стала швидкість руху автомобіля характеризується відхиленнями її значення в межах 5–10 % від заданої величини, досягається вмільм керуванням подачі пального і контролем швидкості за допомогою спідометра. Економію пального досягають, рухаючись зі сталою швидкістю на високих передачах.

Важливим фактором зниження витрати пального є правильний вибір передачі в конкретних дорожніх умовах та при різних навантаженнях на автомобіль. При частоті обертання колінчастого вала двигуна на рівні 40–45 % від максимального значення доцільно перейти на вищу передачу, при 30–35 % – на нижчу. Під час руху в населених пунктах водій повинен вибирати швидкість, яка б забезпечувала наближення до перехрестя накатом при зміні сигналу світлофора. Водночас слід враховувати, що застосування руху накатом як у населених пунктах, так і поза ними на слизькій дорозі є небезпечним. Під час руху по снігу, піску, мокрому ґрунту витрати пального збільшуються майже вдвічі. Істотно зростає витрата палива також при високих та низьких температурах повітря. У холодну пору року перевитрати пального пов'язані зі значними тепловими витратами у двигуні і збіль-

шенням опору трансмісії, а висока температура повітря сприяє утворенню збагаченої суміші.

Окремо транспортні засоби характеризуються екологічними показниками, які представлені викидами шкідливих речовин в навколишнє середовище. Основні компоненти, що викидаються в атмосферу при спалюванні різних видів палива в двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) – нетоксичні діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) і водяна пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Однак, крім них в атмосферу викидаються і шкідливі речовини, такі як оксид вуглецю, оксиди сірки, азоту, сполуки свинцю, сажа, вуглеводні, у тому числі канцерогенний бензопірен ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ), незгорілі частки палива і т. п.

Токсичними викидами ДВЗ, окрім відпрацьованих газів, є картерні гази та пари палива. Основна частка токсичних домішок надходить в атмосферу від ДВЗ з відпрацьованими газами.

Основними шляхами покращення екологічних показників транспортних засобів на сьогоднішній день є встановлення каталітичних нейтралізаторів, сажових фільтрів для дизельних двигунів, використання альтернативних видів палива (БП, біоетанол, біогаз), обладнання автомобілів гібридними силовими установками.

## **1.2 Фактори, що впливають на експлуатаційні та екологічні показники транспортних засобів, шляхи їх покращення**

На експлуатаційні та екологічні показники транспортних засобів здійснюють вплив внутрішні та зовнішні фактори. Внутрішні фактори поділяються на конструктивні та експлуатаційні: показники конструктивних факторів закладаються на етапі проектування і виробництва, тому під час експлуатації автомобіля їх змінювати не можна; експлуатаційні фактори визначаються технічним станом автомобіля.

До зовнішніх факторів належать: інтенсивність руху, категорія умов експлуатації автомобіля, завантаження автомобіля тощо.

Склад і кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу залежить від типу двигуна і його технічного стану, типу палива, швидкості й інтенсивності транспортних засобів, умов їх експлуатації, а також від технічного стану доріг. Кількість шкідливих речовин, що

надходять в атмосферу в складі відпрацьованих газів, залежить від загального технічного стану автомобілів і особливо від двигуна – джерела найбільшого забруднення.

На сьогоднішній день основними шляхами покращення експлуатаційних та екологічних показників транспортних засобів є:

- Відключення робочих циклів ДВЗ на режимах часткових навантажень і холостого ходу. Застосуванням відключення окремих робочих циклів можна досягти значного поліпшення економічних і екологічних показників при роботі двигуна на режимах часткових навантажень. Застосування запропонованої системи регулювання потужності ДВЗ при роботі на часткових режимах зменшує до 25 % витрату палива (на холостому ході – до 44 %) з одночасним суттєвим в 5...6 разів зменшенням концентрації продуктів неповного згорання у відпрацьованих газах двигуна.

- Використання системи регулювання фаз газорозподілу. При роботі будь-якого двигуна внутрішнього згорання процеси, що відбуваються в ньому (впуск, згорання, випуск) мають певну інерційність. Тому клапани відкриваються не точно у верхній або нижній мертвих точках, а завчасно. Але оскільки оберти двигуна змінюються в дуже широких межах, швидкість всмоктуваного повітряного потоку й потоку відпрацьованих газів, теж змінюється, відповідно для поліпшення наповнення циліндрів свіжою порцією паливо–повітряної суміші й очищення від продуктів згорання потрібно постійно змінювати момент і час відкриття/закриття клапанів. Це прямо впливає на економічні і екологічні показники автомобіля. Саме тому й були створені системи зміни фаз газорозподілу і довжини ходу клапана.

- Використання сучасних систем живлення дизельних двигунів типу Common Rail, які, аналізуючи зовнішні чинники, здійснюють керування кутом випередження впорскування, визначають величину циклової подачі палива тощо.

- Використання альтернативних видів палив, на теперішній час є перспективним напрямком покращення експлуатаційних та екологічних показників транспортних засобів.

Використання вищезазначених шляхів покращення експлуатаційних та екологічних показників транспортних засобів потребує модер-

нізації систем автомобіля та значних вкладень, що в умовах обмеженого фінансування важко реалізувати. На думку фахівців використання альтернативних палив дозволяє покращити експлуатаційні показники автомобіля, зменшити навантаження на навколишнє середовище та залежність від традиційних нафтових палив. Проте відмінні від традиційних нафтових палив фізико-хімічні властивості біопалив обумовлюють потребу проведення досліджень їх впливу на техніко-економічні й екологічні показники та на надійність елементів системи живлення та двигуна.

### **1.3 Аналіз альтернативних видів палив та біодизельного палива як перспективного для двигунів транспортних засобів**

На теперішній час у світі загострюються проблеми, пов'язані із суттєвим подорожчанням нафти, вартість якої з початку 1999 зросла вже понад 10 разів, що дає всі підстави вважати це проявом глобального вичерпання запасів нафти в умовах стрімко зростаючого попиту на нафтопродукти в усьому світі, особливо в Китаї та Індії. Після світової фінансової кризи ціни на нафту зменшились і 23 грудня 2008 року становила 30,28 доларів США за 1 барель, після чого знов стали зростати. Динаміку зміни ціни на нафту за 25 років наведено на рис. 1.1 [1].

У зв'язку з критичним подорожчанням нафти проблема забезпечення транспорту енергоресурсами визнана в США, у країнах ЄС та більшості інших країн світу проблемою національної безпеки, для вирішення якої втілюють надзвичайні заходи з розширення використання альтернативних видів палива та підвищення енергоефективності.

Зменшення витрати на виконання транспортної роботи можливе за рахунок застосування більш ефективних режимів роботи двигуна. На думку фахівців витрати нафтових палив можна зменшити за рахунок раціональної організації протікання робочих процесів в ДВЗ в першу чергу дизельних двигунів, а також регулювання їх потужності за рахунок відключення циліндрів під час руху ТЗ з частковими навантаженнями [2].

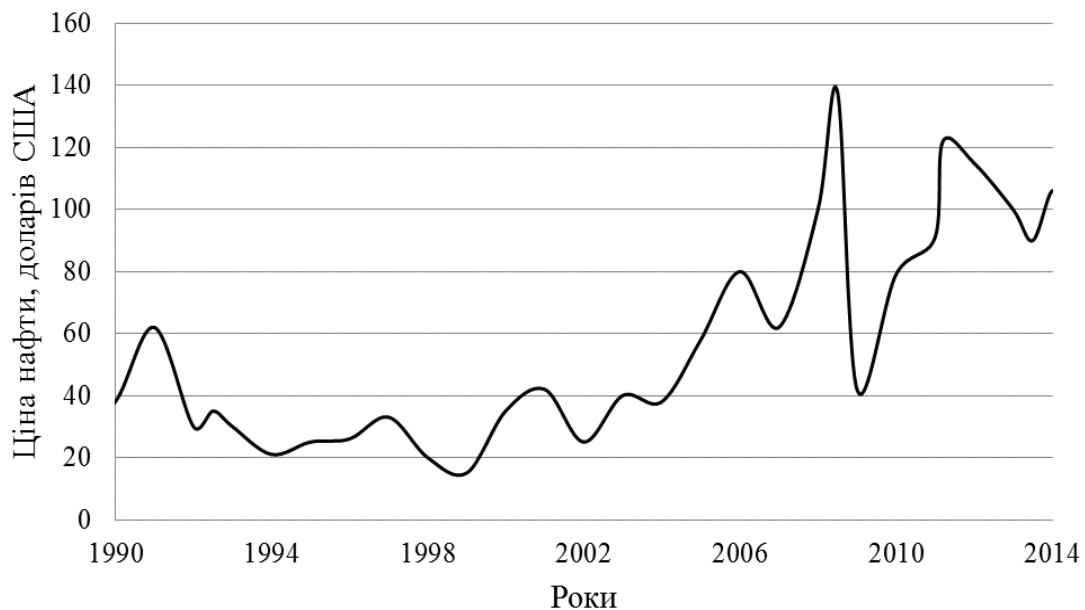


Рисунок 1.1 – Ціни на нафту на світовому ринку

Також зменшення витрат можливе за рахунок застосування сучасних методів підвищення ефективності перевезень вантажів від виробника до споживача використовуючи методики вибору рухомого складу, маршруту і графіка перевезення вантажів, що дасть можливість зменшити витрати на 3–8 % палива в залежності від відстані перевезення вантажу та його масо-габаритних показників. Ці методи зменшення витрати палива потребують значних капіталовкладень і кардинальної зміни системи перевезення вантажів. Але, на думку фахівців, для вирішення проблеми забезпечення транспорту енергоресурсами найбільш ефективною є відмова від традиційних нафтових палив.

На сьогоднішній день в світі все сильніші позиції завойовують альтернативні палива, замінюючи традиційні нафтові палива. До найпоширеніших альтернативних палив можна віднести такі як: стиснений та скраплений газ, водень, БП, етанол, біогаз.

Стиснений та скраплений газ.

Використання стиснутого природного і скрапленого нафтового газу як моторного пального дає змогу знизити токсичність відпрацьованих газів за основними контрольованими параметрами: оксиду вуглецю в 3–4 рази, оксидів азоту в 1,2–2 рази і вуглеводнів в 1,2–1,4 рази. У відпрацьованих газах газобалонного автомобіля немає шкідливих сполук свинцю. Димність відпрацьованих газів газодизельного двигу-

на в режимі вільного прискорення при роботі на газодизельній суміші в 2–4 рази нижча, ніж при роботі на ДП. Однак застосування газового пального потребує гарантування безпечної експлуатації газобалонних автомобілів.

Досвід експлуатації газобалонних автомобілів показав, що при застосуванні газового пального на автомобільному транспорті є такі недоліки:

- зниження вантажопідйомності автомобіля внаслідок великої маси балонів високого тиску;
- зменшення (на 15–20 %) номінальної потужності бензинових двигунів (при тому самому ступені тиску), що погіршує тягово-динамічні та експлуатаційні показники автомобілів;
- незадовільні пускові якості двигуна при знижених температурах навколишнього повітря (нижче – 5 °С) і потреба застосування в цих випадках передпускового підігрівання;
- відносно висока вартість газової апаратури, що підвищує на 20 – 25 % вартість рухомого складу;
- значне збільшення (до 20 % і більше) капітальних вкладень у виробничо-технічну базу АТП;
- збільшення на 5–8 % трудомісткості технічного обслуговування і ремонту газової апаратури.

При використанні стиснутого природного та скрапленого нафтового газу порівняно з бензиновими модифікаціями менші на 45–55 і 35–45 % відповідно, внаслідок нижчої вартості газового пального.

Використання стисненого та скрапленого газу є найпоширенішим серед всіх альтернативних палив і вже тривалий час широко використовується в автомобільному транспорті. Найчастіше використовується газ в двопаливних двигунах.

Розглянемо водень, як перспективний альтернативний вид палива.

Практично всі відомі зараз види палива, за винятком, зрозуміло, водню, забруднюють навколишнє середовище (не враховуючи забруднення при виробленні водню). Водень – один з найбільш поширених елементів на Землі. У земній корі з кожних 100 атомів 17 – атоми водню. Він становить приблизно 0,88 % від маси земної кулі (включаючи атмосферу, літосферу і гідросферу). Водень входить до складу нафти

(10,9–13,8 %), деревини (6 %), вугілля (буре вугілля – 5,5 %), природного газу (25,13 %).

У розпорядженні сучасних технологів є сотні технічних методів отримання водневого палива, вуглеводневих газів, рідких вуглеводнів, води. Вибір того чи іншого методу диктується економічними міркуваннями, наявністю відповідних сировинних і енергетичних ресурсів. Наприклад, в країнах, де є дешева надлишкова електроенергія, що виробляється на гідроелектростанціях, можна отримувати водень електролізом води (Норвегія); де багато твердого палива, можна отримувати водень газифікацією твердого палива (Китай); де дешева нафта, можна отримувати водень із рідких вуглеводнів (Близький Схід). Однак найбільше водню отримують в даний час з вуглеводневих газів конверсією метану і його гомологів (США, Росія).

Але найкращим в технологічному плані є методи термохімічного розкладання води. Ці методи важливі тим, що для розкладання води вони можуть використовувати і тепло атомних реакторів, сонячне тепло, і тепло геотермальних вод, і будь-які інші види тепла, наприклад перепад температур верхніх і нижніх шарів тропічних морів. Розробляються комбіновані термохімічні процеси, які поряд з теплом використовують електричну енергію термоелектрохімічних процесів, сонячне випромінювання, фото- і термохімічні процеси. Термохімічні процеси розкладання води привабливі ще й тим, що в результаті низки хімічних перетворень, що протікають у термохімічному циклі (системі), в навколишній простір нічого, крім водню і кисню, не виділяється. Всі хімічні процеси, що супроводжують розкладання води, знаходяться в закритому циркуляційному контурі.

Автомобілі на водневому паливі умовно можна розділити на два класи.

Перший – це машини зі звичайним двигуном внутрішнього згорання, який працює на водні або водневій суміші. Такі моделі можуть працювати на чистому водні або 5–10 % водню додають до основного палива. В обох випадках ККД двигуна збільшується (у другому випадку приблизно на 20 %) і вихлоп стає набагато чистішим (вміст чадного газу (CO) і вуглеводнів ( $C_nH_m$ ) зменшується в півтора рази, оксидів нітрогену ( $N_nO_m$ ) – до п'яти разів). Такі двигуни й автомобілі були сконструйовані й пройшли всі випробування у нас і за кордоном приблизно ще в 70–80-ті роки.

Другий – це машина з електродвигуном, який працює від паливного елемента, що знаходиться в автомобілі. Теоретично ККД паливного елемента, що працює на суміші водень–повітря, може перевищувати 85 %. Зараз вже вдалося одержати двигуни з ККД близько 75 % – це більш ніж удвічі вище відповідного показника найкращих двигунів внутрішнього згорання. В умовах міста такі машини одержать п'ятишестиразову перевагу над звичайними автомобілями.

Недоліки водневого транспорту.

Суміш водню з повітрям – вибухова речовина. Водень більш небезпечний, ніж бензин, тому що горить у суміші з повітрям в більш широкіх концентраціях. Але водень, що зберігається в баках при високому тиску, у випадку пробиття бака дуже швидко випаровується. Для транспорту розробляються спеціальні безпечні системи зберігання водню – баки з кількома стінками, зі спеціальних матеріалів і т. д.

Воднева силова установка (паливні елементи) значно складніша і дорожча в обслуговуванні, ніж звичайний ДВС. За даними Массачусетського технологічного інституту, експлуатація водневого автомобіля на сучасному етапі розвитку водневих технологій обходиться у сотню разів дорожче, ніж бензинового. Можливо в майбутньому вартість експлуатації зменшиться.

Для заправки воднем потрібно побудувати мережу заправних станцій. Для заправних станцій, що заправляють автомобілі рідким воднем вартість обладнання вища, ніж для бензинових заправних станцій. (Згідно з GM, будівництво 12 тисяч водневих заправних станцій в 2005 році оцінювався в \$ 12 млрд, тобто \$ 1 млн на одну заправну станцію, у той час як комплект обладнання для бензинових заправних станцій коштує від \$ 40 тис., в середньому \$ 100 – 200 тис.).

Наступним видом альтернативних палив розглянемо біоетанол. Промислове виробництво етанолу почалося в 1916 році. В першій половині XX століття біоетанол вироблявся з кукурудзи або патоки шляхом ферментації за допомогою бактерій *Clostridium acetobutylicum*.

Використання етилового спирту як енергоносія не є новиною. Свій перший автомобіль Генрі Форд сконструював на базі двигуна, що працював саме на такому спирті, а в умовах дефіциту пального



підчас Другої світової війни в Німеччині спирт додавали до бензину. Проте тільки наприкінці ХХ століття з'явилися повномасштабні програми використання біоетанолу як пального для двигунів. В складі пального біоетанол дозволяє збільшити октанове число і покращити експлуатаційні характеристики сумішевого бензину. Відомо, що використання такого бензину з вмістом до 15 % етанолу не потребує зміни конструкції сучасних двигунів внутрішнього згорання і допоміжних приладів до них. Апробована концентрація етанолу в бензині коливається від 10 % (США) та 8 % (Канада) до 5–6 % (Франція, Польща). Завдяки використанню сумішевого бензину зменшується концентрація шкідливих компонентів у вихлопних газах (чадного газу, закису азоту, оксиду азоту та інших летких токсичних викидів). Так, вміст оксиду вуглецю зменшується на 25 %, вуглеводнів і оксидів азоту на 5 %, що надзвичайно важливо для великих міст, де головним джерелом забруднення є автомобільний транспорт [3]. Спалювання етанолу, отриманого з біомаси, не робить «внеску» до парникового ефекту, оскільки виділений CO<sub>2</sub> при роботі двигуна поглинається при вирощуванні сировини для виробництва біоетанолу.

Нині весь паливний етанол отримується методом зброджування цукрів (цукрова тростина) або сировини з вмістом крохмалю (в основному кукурудза). У Канаді, Бразилії та США діють державні програми з виробництва паливного етанолу. Світовими лідерами у цій галузі є Бразилія та США. Так, у 1999 році Бразилія виготовила 6,5 млрд. літрів паливного етанолу, що забезпечило 13 % її загальних потреб в енергоресурсах і 19 % – у рідкому паливі, тобто на нафті були заощаджені значні кошти. Завдяки сучасним технологіям з використанням цукрової тростини виробництво етанолу в цій країні є рентабельним: від 1990 року його обсяги щорічно зростали на 4 %, а собівартість зменшувалася на 3 %. Раніше тут виробляли переважно безводний етанол як пальне для автомобілів зі спеціальними двигунами. Але останнім часом у Бразилії використовуються паливні суміші з вмістом етанолу: 26 % – у бензині і 3 % – у ДП. Такі суміші не потребують змін у конструкції ДВЗ чи дизельних двигунів [4]. Щороку, залежно від ринку цукру, уряд країни визначає, який

відсоток біоетанолу буде додаватися до моторних бензинів. Паливний етанол оподатковується тільки прибутковим податком без акцизного збору.

На рис. 1.2 наведено динаміку зростання виробництва в світі біопалив. Як видно з рисунку значне зростання відбулося після 2000 року.

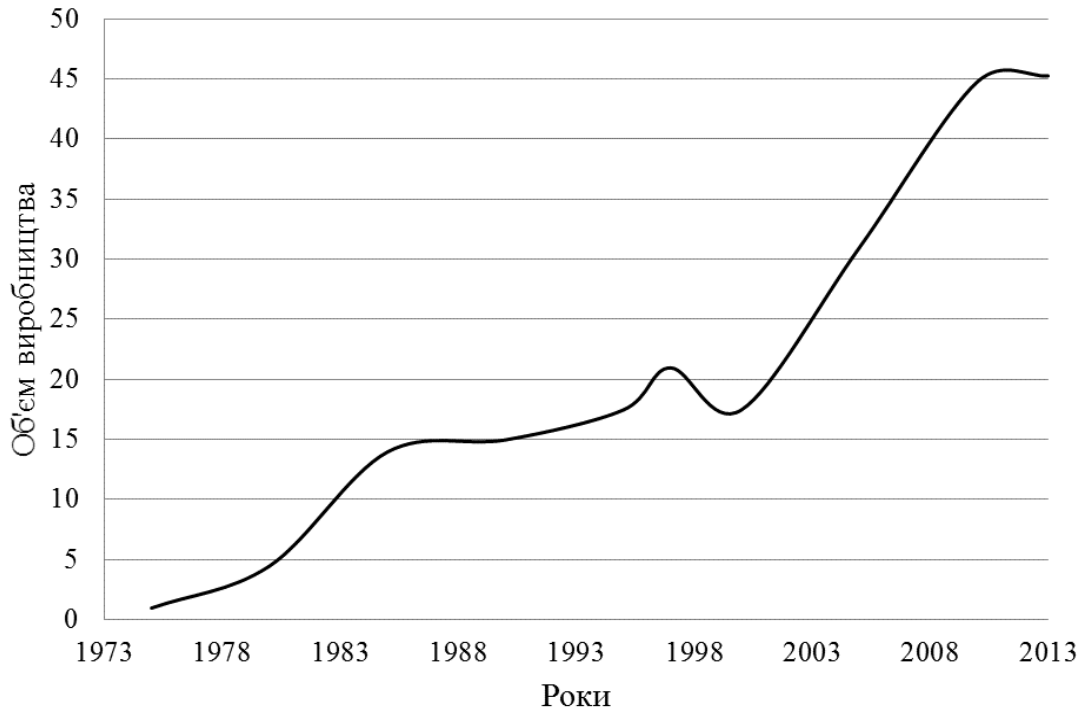


Рисунок 1.2 – Світове виробництво біопалив із біомаси

США – другий великий виробник етанолу – палива, яке дає змогу щорічно заощаджувати близько 1,5 млрд. доларів на придбанні нафтопродуктів, забезпечувати стабільну роботу сільського господарства. Ціни на світовому ринку етанолу представлені в табл. 1.1. Світова потенційна потреба в етанолі складає 2 млрд т в рік, сучасне світове виробництво – 32 млн. т в рік, з них 4 млн м<sup>3</sup> – харчовий етанол, 8 млн м<sup>3</sup> – етанол для хімічної промисловості, 20 млн м<sup>3</sup> – паливний етанол. 7 % етанолу виробляють хімічним синтезом, 93 % – бродінням; 60 % одержують з цукру, 40 % – із зерна.

Таблиця 1.1 – Ціни на світовому ринку біоетанолу

Країна	Ціна (грн/м <sup>3</sup> )
Бразилія	1660
Бразилія (безводний спирт)	2280
США (безводний спирт)	2595
Європа (безводний спирт з цукрового буряка)	3600–4600
Імпорт спирту до Європи	1970

З однієї тонни кукурудзи здобувається до 410 літрів етанолу. Залежно від використовуваного устаткування в процесі вироблення етанолу можна отримувати низку інших продуктів, які часто приносять заводам дохід. Навіть сьогодні у країні діють податкові знижки на паливний етанол, щоб зробити його дешевшим за бензин. Річна ж потужність спиртових заводів США з виробництва етанолу складає близько 7,5 млрд літрів. За підрахунками коаліції губернаторів, які підтримують цю галузь, в неї з 1978 року інвестовано понад 4 млрд доларів США. У двадцяти штатах розміщено 56 підприємств з виробництва етанолу, і ще 30–35 заводів будуються. Очікується, що у США буде виготовлятися близько 36 млрд літрів у 2020-му році.

Країни ЄС виробляють 2 млрд л етанолу в рік, але як паливо використовується менше 10 %. Проте 7 листопада 2001 року дві комісії ЄС прийняли Директиви про обов'язковість вмісту біопалива у традиційному пальному для транспорту країн ЄС.

Біоетанол є одним із найперспективніших альтернативних палив, яке у великій кількості можна виробляти та використовувати в Україні. Наявних виробничих потужностей спиртових заводів на 2014 рік достатньо для виготовлення 150 тис. тонн біоетанолу на рік.

Україна має великий потенціал біомаси, придатний до енергетичного використання, зокрема відходи сільського господарства (солома, качани кукурудзи, лузга соняшника), тверді побутові відходи, що переважно складаються з лігноцелюлози. Сировиною для паливного етанолу може бути також меляса (її обсяги становлять близько 2 млн т/рік), зернові культури, картопля, фрукти, спеціальні технічні культури.

Україна є крупним виробником харчового спирту. Річна сумарна потужність спиртових заводів становить близько 700 млн літрів спирту, в тому числі 340 млн – від заводів з переробки меляси. На жаль, велика кількість таких підприємств працює з неповним завантаженням або взагалі простоює. В перспективі їх потужності можна спрямувати на виробництво паливного етанолу з лігноцелюлози, але цей процес має бути рентабельним

В нашій країні вже виконано значний обсяг робіт з розробки й впровадження технології виробництва аналогу паливного етанолу – ВКД до бензину, яку одержують біоконверсією вуглеводневмісної відновлюваної сировини. Технологія отримання ВКД, розроблена Українським інститутом спирту і біотехнологій виробничих продуктів (УкрНДІспиртбіопрод, Київ) і державним концерном «Укрспирт», впроваджена на шести спиртових заводах України: Барському, Довжоцькому, Луганському, Дублянському, Гайсинському, Маловисківському та Узинському оцтоводріжджовому заводі з сумарною добовою потужністю понад 120 т. [5]. Виконані в Україні у 1998–1999 роках експлуатаційні, стендові та дорожні випробовування підконтрольної групи автомобілів на сумішевих бензинах дають підстави до таких висновків:

- експлуатаційні властивості автомобілів, що працюють на сумішевих бензинах з доданням 6 % ВКД практично не погіршуються порівняно з тими, що працюють на товарних бензинах;
- підвищується октанове число сумішевих бензинів;
- не зафіксовано негативного впливу тривалої роботи автомобілів на технічний стан і стабільність регулювання паливної апаратури;
- зменшується концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів: оксидів азоту на 4,5–16% та ароматичних вуглеводнів на 9–15%.

Україна на законодавчому рівні встановлює використання біоетанолу, так в оприлюдненому Міністерством законопроекті сказано, що з 2016 року частка біоетанолу в бензинах має скласти 7 %. Для реалізації такої вимоги при внутрішньому споживанні бензинів на рівні 4,5 млн тонн/рік Україні необхідно забезпечити виробництво понад 300 тис. тонн біоетанолу на рік.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Василов Р. Г. Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 1: биодизель / Р. Г. Василов // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. – 2007. – Т. 3, № 1. – С. 47–54
2. Dent F. P. Phenomenological combustion model for a quiescent chamber diesel engine. SAE paper 811235, 1981.
3. Knothe Gerhard. The Biodiesel Handbook / Gerhard Knothe, Jon VanGerpen, Jürgen Krahl. – Illinois : AOCS Press, 2005. – 302 p.
4. Qianfan Xin. Diesel engine system design / Qianfan Xin // Woodhead Publishing Limited. – 2011. – 1038 p
5. Ericson C. Modelling diesel engine combustion and NO<sub>x</sub> formation for model based control and simulation of engine and exhaust after treatment system / C. Ericson, M. Andersson, R. Egnelland, B. Westerberg // SAE Technical papers Series. – 2006. – № 200601687.
6. Environmental and Health Effects Caused by the Use of Biodiesel / O. Schroder, J. Krahl, A. Munack et al. // SAE Technical Paper Series. – 1999. – № 1999013561. – P. 1–11.
7. Парсаданов И. В. Результаты исследований показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизеля при работе на рапсовометилевоом эфире / И. В. Парсаданов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. – № 4. – С. 143–150.
8. Дослідження фізико-хімічних показників альтернативного біопалива на основі ріпакового масла / А. П. Марченко, В. Г. Семенов, Д. У. Семенова, О. Ю. Ліньков // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – 2000. – Вип. 101. – С. 159–163.
9. Осетров А. А. Улучшение технико-экономических показателей дизеля 4 ЧН 12/14, работающего на биотопливах : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Осетров Александр Александрович ; НТУ «ХПИ», – Х., 2005. – 190 с.
10. Применение растительного масла в дизелях в качестве добавки к топливу / Ф. И. Крайнюк, И. П. Васильев, А. Е. Петренко, Ю. А. Корганова // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 6. – С. 17–20.

11. Weideman K. Einsatz von Kraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im VW/Audi Dieselmotor / K. Weideman, H. Heinrich // VDI Berichte. – Düsseldorf, 1992.

12. Справочное руководство по производству масел и жиров в домашних условиях / под ред. Ж. Халле, Д. Картер. – Харьков : 2007. – 76 с.

13. Лютко В. В. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. В. Лютко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян – М. : МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.

14. Петренко А. Е. Влияние содержания растительных масел в топливных смесях на фракционный состав / А. Е. Петренко, Ю. А. Корчанова, И. П. Васильев // Технічні науки : збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – 2006. – № 64 (87). – С. 214–217.

15. Итинская Н. И., Топливо, масла и технические жидкости : справочник. / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов. – 2-е изд., пераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1989. – 304 с.

16. Vozbas K. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. / K. Vozbas // Published by Elsevier. – Режим доступа до статті: [http://aoatools.aua.gr/pilotec/files/bibliography/biodiesel\\_in\\_europe2005-3865689856/biodiesel\\_in\\_europe2005.pdf](http://aoatools.aua.gr/pilotec/files/bibliography/biodiesel_in_europe2005-3865689856/biodiesel_in_europe2005.pdf).

17. Effect of Biodiesel on the Performance and Combustion Parameters of a Turbocharged Compression Ignition Engine. / A. N. Shah, G. E. Yunshan, Chao He, A. H. Baluch // Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. – V. 4. – P. 34–42.

18. Lefebvre A. H. Atomization and sprays. / A. H. Lefebvre. – NY, USA : Hemisphere publishing corporation. – 1989.

19. Sirignano W. A. Fuel Droplet Vaporization and Spray Combustion Theory / W. A. Sirignano // Progress in Energy and Combustion Science. 9, – 1983. – № 9. – P. 291–322.

20. Sirignano W. A. Fluid Dynamics And Transport of Droplets and Sprays / W. A. Sirignano // Cambridge University Press. – 1999.

21. Срезневский Б. И. Об испарении жидкостей / Б. И. Срезневский // ЖРФХО. – 1982. – Т. 14, вып. 8. – С. 420–442.

22. Вибе И. И. Новое о рабочем цикле двигателей / И. И. Вибе // МАШГИЗ, 1962. – 173 с.

23. Гутаревич Ю. Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях. / Ю. Ф. Гутаревич. – К. : Вища школа, 1991. – 179 с.

24. Умняшкин В. А. Теория автомобиля : учебное пособие / В. А. Умняшкин, Н. М. Филькин, Р. С. Музафаров. – Ижевск : ИжГТУ, 2006. – 272 с.

25. Гунько А. В. Уточнення математичних моделей руху автомобіля по їздовому циклу з різними системами живлення / А. В. Гунько, В. В. Славін // Військові та технічні науки : збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. – 2012. – № 58. – С. 110–114.

26. Андриевская Л. Д. Дизель СМД-18Н и его модификации / Л. Д. Андриевская, В. А. Бугара, Ю. М. Димент ; под. ред. А. М. Дуденко. – 3-е изд. – Харьков : ПРАПОР, 1989.

27. Измерители дымности отработавших газов МЭТА-01МП. Руководство по эксплуатации. – М., 2010.

28. ДСТУ 3868-99. Паливо дизельне. Технічні умови. – К. : Держстандарт України, 1993.

29. ДСТУ 6081:2009. Ефіри метилові жирних кислот олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні умови. – К. : МАСМА, 2009.

30. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1981.

31. ДСТУ 4276:2004. Норми і методи вимірювань димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – (Національний стандарт України).

32. ДСТУ 4840:2007. Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови. – К. : Держспоживстандарт України 2007. – (Національний стандарт України).

33. EN 590:2004 Automotive fuels. – Diesel. — Requirements and test methods. – 2004.

34. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – М., 1990.

*Наукове видання*

**Поляков Андрій Павлович  
Галушак Олександр Олександрович  
Галушак Дмитро Олександрович**

**ВИКОРИСТАННЯ ДИНАМІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ  
ВІДСОТКОВОГО СКЛАДУ СУМІШІ ПАЛИВ  
НА ДИЗЕЛЯХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено А. Поляковим

Підписано до виготовлення 12.06.2015 р.

Системні вимоги:

процесор Pentium; 512 Mb RAM;

Windows XP,7,8; Acrobat Reader 6.0.

Один електронний оптичний диск (CD-ROM); Обсяг даних 4,0 Мб.

Наклад 100 (1-й запуск 1–30) прим. Зам. № E2015-04

Видавець та виготовлювач – Вінницький національний технічний університет,  
Комп'ютерний інформаційно-видавничий центр Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ,  
ГНК, к. 114, м. Вінниця, 21021, тел.: (0432) 59-85-32, 59-81-59.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.