

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від __ _____ 20__ р.
№__

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з навчальної дисципліни «Ресурсозберігаючі технології на автомобільному транспорті»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності «Автомобільний транспорт» код спеціальності 274
освітньо-професійна програма «Автомобільний транспорт»
факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
(назва факультету)
кафедра Автомобілі і транспортні технології
(назва кафедри)

Рекомендовано на засіданні
кафедри Автомобілі і
транспортні технології
13.07.2022 р., протокол № 8

Розробник: к.т.н., доцент КОЛОДНИЦЬКА Руслана
(науковий ступінь, посада, ПРІЗВИЩЕ, власне ім'я)

Житомир
2022

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 2

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Тема 1. Ресурсозбереження та енергозберігаючі технології.	14
Тема 2. Використання альтернативних палив в автомобільному транспорті	22
Тема 3. Шкідливі викиди від автомобільного транспорту. Програма COPERT.....	34
Тема 4. Нові технології збереження ресурсів на автомобільному транспорті (на прикладі шведської компанії Volvo).....	45
Тема 5. Збереження ресурсів шляхом використання електромобілів	53
Тема 6. Автомобілі на паливних елементах як перспектива для України у збереженні ресурсів	62
Тема 7. Розвиток гібридних автомобілів та автомобілів на сонячних батареях.....	83
Тема 8. Використання відходів виробництва на автомобільному транспорті. Автомобілі з композитних матеріалів на натуральних волокнах	89
Список джерел.....	97

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 3

Передмова.

Дорогі студенти – магістранти за спеціальністю «Автомобільний транспорт». Запрошуємо Вас до вивчення курсу «Ресурсозберігаючі технології на автомобільному транспорті». Курс складається з лекцій, практичних і лабораторних занять. Деякі матеріали з цього курсу Ви можете знайти на вебсайті університету «Житомирська політехніка». Три книжки з тематики альтернативних палив (біопалив), автор Колодницька Р.В. можна взяти у бібліотеці Житомирської політехніки. Також на вебсайті Університету виставлені лекції (Power Point), які були прочитані в університеті м. Coventry, Великобританія, під час участі кафедри «Автомобілів і транспортних технологій» в європейській програмі Еразмус.

В конспекті лекцій Ви знайдете сучасні технології збереження ресурсів. Багато уваги присвячено альтернативним паливам, електромобілям і гібридним автомобілям. Тема автомобілю на паливних комірках з використанням водню (тема 7) є ключовою у вивченні курсу. На практичних та лабораторних заняттях буде можливість розрахувати автомобіль на паливних комірках чи гібридний електромобіль, використовуючи програму «Advisor», яка є частиною програмного продукту Matlab. Остання тема лекцій (тема 8) присвячена новим матеріалам для автомобілів, що виготовляються на основі відходів технічної коноплі. Адже перші автомобілі, які створив Форд були також «конопляними». Ви визнаєте які нові матеріали використовують ведучі автомобільні компанії світу, включаючи конопляні.

Якщо у Вас є запитання до курсу, або побажання будь ласка напишіть мені за адресою ruslanakolod2017@gmail.com.

Вступ

Проблеми з використанням нафтових палив часто є однією з причин локальних та світових військових дій. Враховуючи вищесказане, а також завдяки обмеженим світовим джерелам нафти, інтерес до альтернативних та відновлювальних палив зростає. Збільшення випуску електромобілів не може повністю замінити автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння. До того ж недоліки електромобілів, які пов'язані в першу чергу з недовговічністю і великою вартістю акумуляторів, не дозволяють повністю перейти на цей вид транспорту. Курс ресурсозберігаючих технологій на автомобільному транспорті базується в основному на 1) вивченні альтернативних палив як заміників нафтового палива 2) паливно-комірчаній напрямку, що пов'язаний з використанням водню в автомобільному транспорті, що дає нульові викиди.

Економічне використання сировини (адаптовано з [1]).

«Критерієм технічного прогресу господарства окремої країни є економічне використання сировини і енергії, яке означає найефективніше і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 4

найраціональніше використання праці і збільшення її продуктивності. Тому однією з найважливіших проблем нашої промисловості і енергетики є якнайкраще використання палива. А найважливішим завданням науки в галузі енергетики має стати боротьба з нераціональним використанням хімічної енергії палива, боротьба з хижацьким використанням енергетичних ресурсів країни. Коефіцієнт корисної дії парової машини навряд чи може бути доведений до 30 %, а двигуна внутрішнього згоряння — до 35 %. Тим часом термодинамічні розрахунки демонструють, що корисна енергія, яка може бути отримана у вигляді механічної або електричної енергії — горіння вугілля, становить близько 100 % (99,75 %)), — писав у своїй книжці О. Давтян.

Звичайно зараз ми знаємо, що горіння вугілля пов'язано з великими викидами вуглекислого газу, що призводить до змін в кліматі планети і до глобального потепління. Через те в наш час автомобільний транспорт робить ставку на використання електроенергії.

Для людства корисними видами енергії є тепло та електрика. Теплом користуються люди споконвіку, а електрика стала їм відома значно пізніше. Користуються нею у «промислових» масштабах, можна вважати, з 1837 року з винаходом електричного телеграфу у Нью-Йорку, США, який живився на початку паливними комірками з електролітом з сірчаної кислоти.

Щодо палива для виробництва електрики, то цікаво прослідкувати за думками одного із корифеїв паливно-комірчаного шляху розвитку України, доктора Олександра Васильєва, який є одним зі співавторів роботи [1]. У середині 70-х років минулого століття йому випало навчатися у Москві, де студенти висловлювати своє невдоволення планами комуністичної влади постачати газ та нафту через мережу трубопроводів із Сибіру у Західну Європу. Лектори з «ЦК КПРС», яких понаїхало до університету для роз'яснювальної роботи, впевнено і на щиру радість доволі ще юних активних слухачів розповідали, для чого все це робитися, себто «коли буде треба, то ми й прикрутимо кран», що викликало підтримку і неабиякий ентузіазм у студентів. Чи міг тоді автор передбачити, що у першу чергу це зачепить його самого, що перекриттям газогонів московити спробують покарати його рідну Україну-неньку, і з часом Москва розпочне й тривалу криваву війну проти України?.. Москва вправно прив'язала українців до своїх газових і нафтових труб, грабувала і досі успішно грабує їх попри напускну самостійність і незалежність. Українці й досі не здогадуються, що мають свої, незалежні від Москви, джерела вуглеводнів. Що у світі існують й інші, значно ефективніші і екологічно чистіші способи виробництва електрики і тепла, які ще й досі практично заборонені не тільки для використання, а й до вивчення і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 5

розроблення (як це свого часу було з генетикою та кібернетикою, як їх радянська пропаганда без удаваної вихованості радісно називала «гулящими девками імперіалізма»). Ці способи і фізичне явище, з якого вони виходять, просто не згадувались і ще не згадуються ні у шкільній, ні в університетській програмах. Їх просто не було і досі немає! І це при тому, що й досі багато хто вважає, що в СРСР була найкраща у світі освіта, за якою «паливних комірок» у природі просто не повинно існувати.

Як пише Васильєв і співавтори [1] «паливна комірка» (fuel cell англійською) «не тільки дозволила з'єднувати людей між континентами через океани і здійснювати космічні подорожі, а й значно, у рази(!) скорочувати витрати вуглеводнів на виробництво електрики і відповідно зберігати довкілля, що вже призвело до нового енергетичного переходу, а з ним і до переходу до «водневої економіки»». За програмою кандидата у президенти Ела Гора американська промисловість повинна була випускати 200 тисяч паливно-комірчанних автомобілів вже у 2004 році. Обама, здолавши на президентських виборах Ела Гора, мерщій покінчив з паливно-комірчаною ідеєю — і перезавантажив відносини з Російською Федерацією. Для їзди хайвеями американським водневим авто кількості палива потребувалося утричі (!) менше

В Україні існує потенціал вуглеводнів, викопних і відновних, природного водню та не розвинених ще до промислового рівня екологічно чистих високоефективних способів виробництва електрики і тепла з наявних носіїв енергії, на чому, на нашу думку, і повинні зосереджуватися зусилля стосовно розбудови і запровадження стратегії розвитку енергетики і енергетичної безпеки країни у найшвидший і найдешевший спосіб.

Ресурсозберігаючі технології на основі паливних комірок

На нашу думку, один із перспективних напрямків розвитку України в збереженні ресурсів є паливно-комірчанний напрямок. Огляд компаній, які працюють в цьому напрямку, так названих «ведучих гравців» можна знайти в темі 6.

Невичерпне джерело метану і сірководню (адаптовано з [1]). Паливна комірка виробляє електрику з хімічної енергії взаємодії паливних газів з киснем повітря. Кисень у світі поки що дармовий і практично постійно доступний, бо тихо і самовіддано відновлюється рослинами, які людство нещадно нищить собі ж на шкоду і шахряям на втіху...

А ось із забезпеченням паливними газами значно складніше, бо розподілені вони по Земній кулі нерівномірно. Недалекоглядні країни, які володіють покладами вуглеводнів (метану тощо), агресивно поведуться з сусідами, особливо близькими, і все роблять, як уже зазначалося вище, щоб запобігати

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 6

економному споживанню цього божого дарунку. Непутящі країни не зважають на те, чого вчили їх ті, кого вони начебто поважають. Маємо на увазі відомий за шкільними підручниками вислів Д. І. Менделєєва, який визначив жартома, що «...использовать нефть (і газ. — Ред.) в качестве топлива — это все равно что топить печь ассигнациями!».

Так сталося, що Україна, маючи під боком практично невичерпні поклади газу метану, вже сотню років від початку промислового використання його та подібних йому газів змушена споживати підконтрольний лише московитам природний газ, який вони постачають зі своїх родовищ, розташованих за десятки тисяч кілометрів на схід і північ від місця споживання, за що українці змушені сплачувати непомірну ціну, часто ще й військову.

Інакше кажучи, з цим природним газом українці мають непомірний неприродний клопіт, якому давно вже настав час покласти край! Мало хто обізнаний на тому, що потрібний людям цей газ, метан, разом з його родичами, знаходиться поруч, у воді теплого і не дуже бурхливого моря, яке зараз називається Чорним. Колись давні люди його звали то Понтом Евксинським, то Руським морем (прошу не тулити сюди московитів! Чорне море — не їхнє. Воно Руське, тобто Українське, яким вже скоро будуть користатися порядні Причорноморські країни). І навіть більше, не використання цього чорноморського газу постійно створює людям значний клопіт. Газ постійно виходить з води і... одесити та мешканці чорноморського узбережжя можуть багато порозповідати, як море горить, земля трясеться тощо [1].

Вуглеводні і сірководні добре розчиняються у воді і навіть утворюють так звані газові гідрати. Кандидат економічних наук старший науковий співробітник Одеського філіалу Національного Інституту Стратегічних Досліджень пані Олена Михайлюк повідомляє, що у деяких районах Чорного моря на глибинах 300–1000 м виявлено газогідратні поклади метану потужністю 400–800 м нижче за дно моря. У центральній глибоководній частині Чорного моря (в районі Криму) запаси метану в газогідратах оцінюються у 20–25 трлн м³, а в усьому Чорному морі, за попередніми оцінками геологів, — у 60–75 трлн м³. Щорічну потребу України в газі до 85 млрд м³, як видно, Чорне море може забезпечити на декілька десятиліть, навіть якщо не враховувати відновлення запасу газів [1]. Щодо сірководню, то згідно з одним проектом, використання чорноморських запасів сірководню, запропонованим ще у 1979 році, планувалося щорічне видобування до 250 млн тонн сірководню для перероблення і подальшого спалювання. Основним «відходом» виробництва є сірчана кислота — цінна сировина для інших галузей промисловості. Основним недоліком означеної технології є її порівняно висока

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 7

капіталомісткість. У національних масштабах будівництво станцій з переробки сірководню може стати вигідним і безпечним способом послаблення від енергозалежності. У 1979 році визначалося, що будівництво таких станцій вартуватиме у кілька разів дешевше за будівництво АЕС, швидко окупиться і призведе до скорочення собівартості електричної енергії приблизно у 8 разів. Одеські науковці дуже добре попрацювали над оцінками запасів газів і можливими проектами їх видобування. Проекти подавались «на гору». Москва, дякуючи Богові, їх відхиляла як неслухні. Зараз настав час українцям втілити ті важливі проекти на свою користь за допомогою паливних комірок. До того ж паливно-комірчана енергетика значно простіша і безпечніша порівняно з традиційним виробництвом електрики через проміжне тепло.

Відмовитись від споживання контрольованих Москвою вуглеводнів, наприклад, з 2031 року, а то й раніше, цілком можливо. І перейти на споживання всього того, що зберігається у воді Чорного моря, — газгідратів та сірководню. Освоєння цих багатств призведе до співпраці з Чорноморськими та прилеглими країнами Київського меридіану. Важливим є й додаток, який поєднує. Це — труба Одеса-Броди. Тобто Середземномор'я давно вже поєднано з Льодовитим океаном і саме зусиллями і розумінням України. Залишилось лише здійснити задум. Вірогідно, що основну науково-технічну роботу повинні виконати українці, багато з чого фактично ними вже й зроблено. Споживаючи цей енергетично-хімічний скарб, ми можемо запобігати екологічним катастрофам. Паливні комірки будуть перетворювати газ і кисень на електрику, яку простіше постачати розташованим на березі споживачам, ніж це можна робити з газом. Це і є екологічно-науково-технічним підґрунтям такого завдання і нагальної проблеми, які можна розв'язати. Метан за тепловим своїм впливом на довкілля є значно гіршим за двоокис вуглецю (за деякими даними, понад сто разів), тим більше, що в нинішній парадигмі існування життя на Землі без двоокису вуглецю, навіть за наявності Сонця, рослини не можуть існувати, а отже, не можуть виробляти кисень, без чого саме людство не може існувати. Метан хтось має споживати і переводити його на воду і двоокис вуглецю. Ось у такій послідовності людство і мусить чинити, щоб отримувати корисну для себе енергію, енергію для свого виживання і навіть розвитку. Тож паливних ресурсів у України більше ніж достатньо. Повинна постати лише відповідна промисловість з виробництва паливних комірок та енергетичних систем на їх основі.

Українське економічне диво (адаптовано з [1]).

Васильєв приводить очевидний важливий висновок, що в Україні перехід не тільки до водневої паливно-комірчаної енергетики, а й до водневої економіки

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 8

може здійснитися, тобто це приведе, як вважає Васильєв до українського економічного дива. Україна позбулася ядерної зброї в 1994 році, підписавши Будапештський меморандум. А це є ознакою лише того, що своєї міці Україна домагатиметься винятково у економічний спосіб, для чого має всі підстави. Щоправда, поки що немає лише політичної волі та амбітності у її підприємницької «еліти». Втім, не російській газовій трубі чи атомній промисловості забезпечувати Україні статки... Так уже склалося у світі, що, попри всі негаразди перехідного часу, Україна стоїть в одному ряду з найрозвиненішими амбітними країнами: США, Великою Британією, Канадою, Австралією, Японією, Німеччиною, Китаєм...

У Москві сатаніють від однієї лише думки, що Україна тепер не буде їй підпорядковуватися, що українці не працюватимуть і гинутимуть за її забаганок. Ми досить розлого обміркували вже нову паливно-комірчану енергетику, яка поки що ще з кінця XIX століття орієнтується на двоокис цирконію. Це одна із складових українського економічного дива.

У світі й Україні завершено створення і практичне освоєння найміцнішої кераміки з цирконієвої сировини, якою тільки Україна (в межах Європи та й усієї Північної півкулі) і володіє. Її родовище ще ледь займане. Вже вивчені деякі з найважливіших властивостей цієї кераміки і розроблені порівняно дешеві технології, що забезпечують сталий рівень її властивостей. І зараз вже зрозуміло, що цей матеріал матиме найширше застосування у найближчому майбутньому. Нагадаймо, що цирконієву кераміку дійсно можна вважати «керамічною сталлю», яка, до того ж, має ще й згадану рідкісну властивість бути киснево-йонним провідником, що надає можливість безпосередньо перетворювати енергію, розміщену у органічному паливі, на електрику, що важко переоцінити. Ці фактори мають сприяти і сприятимуть експансії української кераміки у світову економіку як заміниці металів. І в деяких випадках Україна вже найближчим часом може перейти до використання виробів нового покоління, таких, наприклад, як хірургічних скальпелів із лезом з цирконієвої кераміки, які за комплексом своїх якостей неперевершені порівняно з традиційними сталевими. Вони вже зараз високо оцінені хірургами і успішно проходять медико-технічні випробування в Україні і за її межами. Це неабияк впливатиме на покращення медичного обслуговування українського населення, особливо у «польовій хірургії».

Україна практично єдина країна у світі, яка зараз може надати розвиткові світової цирконієво-керамічної галузі визначальний поштовх внаслідок порівняно низьких цін на первинну сировину, бо практично не треба возити кінцеві вироби, та сприятливого можливого застосування новітніх технологій

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 9

саме за станом речей через: – наявність наукового потенціалу; – наявність позитивного досвіду; – наявність власних родовищ додаткових мінеральних ресурсів; – відсутність обтяжливої промислової історії. Очевидно, що все загалом тут окреслене є нічим порівняно з тим, що у світі вже стрімко рухається шляхом комерціалізації. Це паливні комірки, серцем і розумом яких, перш за все, є цирконієва кераміка. Та цирконієво-керамічна галузь тут є якщо і необхідним, але тільки першим кроком.

Паливні комірки є новітнім «Інтелом» світової економіки, її енергетики у самих різноманітних її проявах та транспортних засобах нового покоління. Стало вже зрозумілим, що енергетичні проблеми не тільки України, але й усього світу можуть бути розв'язані через паливно-комірчані технології. Електромобілі Ілона Маска є чудовими, але ж і прив'язаними до дротів електричних заправок з виробленою вже електрикою. Найближчою перспективою є організація масового виробництва паливно-комірчанних автомобілів, що будуть жити від широкого розмаїття палив, від чистісінького водню до аміаку чи навіть складових ракетного палива. Паливно-комірчанний автомобіль потребуватиме вдвічі-вчетверо менше бензину, ніж звичайне авто. Ось у якому напрямі слід спрямовувати свої зусилля. Чи не тут можна заробляти «шалені» кошти? Щось перебило американцям перевести економіку США на паливно-керамічні рейки і налагодити виробництво 200 тисяч паливно-комірчанних автівок.

Україна через свої енергетичні і чорнобильські проблеми має шанс стати провідним виробником цирконієво-керамічних паливних комірок, як і лідером у справі становлення енергетики та транспорту на їх основі. Зараз якраз і підспіло все одне до одного.

Таким чином, цирконієво-керамічна промисловість і промисловість паливних комірок і енергетичних систем на їх основі з паралельним розвитком видобування енергетичних ресурсів Чорного моря (газгідрати, сірководень тощо) і мають бути стратегією розвитку енергетики і взагалі економіки України найближчого часу, бо виробництво паливно-комірчанних енергетичних систем різного рівня і забезпечення їх енергоносіями, у тому числі й рослинного відновного походження, є високотехнологічними справами. Вони й потягнуть за собою всю економіку країни.

Як пише Васильєв і колеги [1] «Зараз Україна має унікальну можливість перебудувати свою занедбану «економну економіку» на засадах саме паливних комірок і відновної екологічно чистої економіки». Автори впевненні, що вдасться істотно покращити не тільки економічні, а й екологічні показники людської діяльності та й енергетичну безпеку нашої країни розвиваючи цей

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 10

напрямок.

Пропонується електрику і тепло для України виробляти з газів, наявних у її Землі і Чорному морі, та відновних біологічних відходів, за допомогою паливних комірок, що забезпечить і гарантуватиме енергетичну безпеку та стає економічне зростання України як високотехнологічної екологічно чистої потуги світу. Це згуртує Причорноморські країни, налагодить плідну співпрацю між ними і зробить Україну безперечним економічним лідером.

Серед першочергових для виконання завдань будуть наступні:

А. Дослідження паливно-комірчаного явища в усіх його можливих проявах, а саме: 1. Активне просвітництво і пропаганда знань щодо паливних комірок і водню та застосування їх у житті людини. 2. Створення бізнесової моделі промислового використання вуглеводнів України на 50 років. 3. Розроблення і оптимізація паливно-комірчаних технологій виробництва електрики і тепла та електролізу води. 4. Налагодження виробництв паливних комірок та комірок для електролізу води. 5. Запровадження виробництва паливно-комірчаних енергетичних засобів для українського війська. 6. Створення виробництва паливно-комірчаних енергетичних систем побутового, промислового і транспортного призначення. 7. Налагодження виробництва паливно-комірчаних електролізерів. 8. Створення гібридів «паливна комірка-газова турбіна». 9. Розроблення технологій газифікації вугілля і відходів рослинного та побутового походження. 10. Дослідження паливно-комірчаних процесів у медицині і біології та створення відповідних лікувальних заходів та протоколів. 11. Природний водень. 12. Енергоносії Чорного моря та Світового океану. 13. Використання Енергії з Інших Взаємодій Речовин. 14. Акумулявання Енергії. 15. Створення технологій виробництва високотехнологічних порошків і керамічної продукції конструкційного призначення. 16. Паливно-комірчана металургія. 17. Паливно-комірчане землеробство. 18. Чимало є й інших питань для вивчення на кшталт прямого перетворення вугілля в електрику тощо.

В. Розбудова промисловості паливних комірок і на їх основі енергетичних систем різноманітного призначення, потужності і застосування у побуті, промисловості, транспорті, медицині і війську. – Стандарти і стандартизація у водневій і паливно-комірчаній енергетиці/економіці. – Техніка безпеки у водневій і паливно-комірчаній енергетиці.

С. Освіта у вік водневої і паливно-комірчаної економіки може призвести до таких висновків: – «Дуже скоро настане день, коли наші діти почнуть думати, що електрика — то є просто водень без протону». Глен Рамбах [3]. – Тепер ми вже додамо, що скоро почнуть вважати, що кисень і водень,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 11

взаємодіючи, перетворюються на електрику.

Паливно-комірчана промисловість у світі вже започаткована. Вона досягла значної ваги і стрімко розгортається. Америка і Європа разом з провідними азійськими країнами усвідомили і створюють юридичні і економічні підстави щодо нового енергетичного переходу, який фактично базується на паливних комірках і який з часом виконуватиме економічний перехід до водневої економіки. І за американськими, і за європейськими настановами паливні комірочки йдуть у сув'язі з воднем. Можна відчувати деяку конкуренцію між обома підходами.

Українцям, як можливим членам Європейського Союзу, доводиться пильніше приглядатися до подій, що відбуваються на європейському водневому полі. Тут звернемо увагу ось на такі останні події. Під кінець 2018 року Європейський Союз підтвердив, що у 2017 році, принаймні у Європі, відбувся енергетичний перехід, тобто альтернативні технології виробництва електрики вже відбулися, а також наголосив на наступному кроці — перехід до «водневої економіки» до 2050 року. Повідомлялося про величезні кошти для виконання цього амбітного плану тощо. Як приклад, оголошено, що вже розпочалось будівництво екологічно чистого автобану вздовж Атлантичного узбережжя від кордону Норвегії з Росією до Марокко, по якому рух автівок на двигунах внутрішнього згоряння заборонять. Можна лише уявити, що тут почалося. Вже у січні 2019-го до Києва заявила делегація водневої асоціації Німеччини зі сльозами, що їм необхідна допомога, бо Німеччина не здатна виконати водневі настанови, бо водень просто нема з чого робити, що єдина надія, яку вони бачать, це Україна зі своєю трубою, через яку вона б могла постачати водень до Німеччини.

З'явилось із десятків градацій водню, які збираються виробляти, і мало хто думає про те, що якщо водень той постачатиметься німцям та іншим шанувальникам чистого повітря, то де залишатиметься весь бруд від його виробництва? Ще й податками обкладуть власників того бруду. Для виробництва водню у електролізний спосіб потрібна чиста вода. І де ж її в Україні братимуть? Не було б так смішно, якби не було так гірко. Ось нещодавно колега надіслав посилання на «гарячі» висліди вже американських науковців, які впевнено доводять, що виробництво водню дає додаткові «істотні» викиди... [4].

Ще у 2000 році Глен Рамбах, науковець з Принстонського університету, США сказав: «...Системи на паливних комірках можуть замінити більшість пристроїв, які виробляють електрику у світі протягом наступних 40–80 років. Зрозуміло, що ринковий потенціал для такого починання становить трильйони

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 12

доларів. Через цей економічний потенціал паливну комірку нещодавно було названо «мікрочипом енергетичної промисловості». Ефективність паливних комірок посилюється ще й тим, що вони не виробляють забруднювальних викидів або парникових газів і не вимагають постачання іноземної нафти» [1].

Про застосування паливних комірок і водню у транспорті, особливо, в легкових автовіках. У 2000 році в Ісландії відбулась чи не остання найбільша світова автомобільна виставка... Більше ніж 20 років по тому згаданий нами сплеск цікавості до паливно-комірчаної технології у США позначився і на очікуваннях автомобільного світу, хоч інколи і з деяким сумнівом. Минуло 20 років. Вже паливно-комірчані автомобілі бігають і Україною. Щоправда, зараз їх називають інакше — електромобілі, бо їхні комірки, літєві батареї, мають трохи іншу природу. Тож згадаймо: «Вже стільки писалось про Інтел та Майкрософт автомобільного бізнесу на початку ХХІ сторіччя. Дуже просто, робота Ballard Power Systems, що на околиці Ванкувера у Канаді, має потенціал для перевизначення шляху, яким автомобілі майбутнього будуть рухатися вперед. Якщо це станеться, воно для автовиробників, їхніх постачальників та покупців буде настільки повним, настільки мудрим рішенням, як ніяке інше з часів, коли Готтліб Даймлер та Карл Бенц почали «колупатися» зі своїми автами наприкінці ХІХ століття. Наріжним каменем намірів Беллард, керованих Фіроз Расулом, є налагодження промислового виробництва паливних комірок на протон-обмінних мембранах (ПОМ) для переносних, автомобільних та стаціонарних застосувань. За останні кілька років фірма досягла великого прогресу. Будучи до останнього часу суто дослідницькою компанією, торік Беллард відкрила своє перше виробництво і вже наступного року збирається випускати портативні генератори. Більші пристрої для автобусів та стаціонарних застосувань плануються до виробництва наступними роками. Потім — момент, якого автовиробники зачекалися — паливні комірки для пасажирських автомобілів будуть поставлені на лінію в період 2003–2005 років... Раптова перспектива того, що хто-небудь зможе придбати чистий, супереконномний паливно-комірчаний автомобіль, стає все ближчою. Але все це відносно. Паливно-комірчаний автомобіль все ще потребує з десятирок років до свого масового виробництва. І поза межами блоку потужності принцип є все ще новим. Він започаткований валлійцем сером Вільямом Гроувом ще за півсторіччя до перших дослідів із двигуном внутрішнього згоряння, які розпочали Даймлер з Бенцем. Порівняно нещодавно паливні комірки були визначені як додаткові джерела потужності на космічних апаратах типу Спейс Шаттл. Ці приклади покликані лише показати, як багато зробив Беллард і як багато потрібно ще зробити...» [5]. «Рух до паливно-комірчаного двигуна з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 13

нульовими викидами провіщатиме про найбільшу революцію, яку коли-небудь бачили в автопромисловості. Скептики все ще кажуть про величезні інвестиції, які не туди вкладалися, і що нафтові компанії тримають ключа.

Міжнародна політика і енергетична безпека. Програма CFSP розроблена в Сакраменто, Каліфорнія. Вона зв'язує вісім технологічних партнерів, трьох паливних партнерів та п'ять урядових установ для введення в експлуатацію 70 паливно-комірчаних автівок та автобусів протягом трьох наступних років. Ідея полягає не тільки в тому, щоб продемонструвати життєстійкість самих машин за умов щоденної роботи, а також і оцінка можливостей різних підходів як у метаноловій, так і водневій паливних інфраструктурах. Серед перших у перегонах паливно-комірчаних машин були студенти віком від 11 до 17 років — переможці конкурсу з написання твору на 500 слів на тему: «Чому паливно-комірчані авто є важливими для майбутнього?» Вся програма має сильний вплив на суспільство та поширення відомостей про паливні комірки. Технологічними партнерами є Ballard Power Systems, International Fuel Cells, DaimlerChrysler, Ford, Honda, Hyundai, Nissan and Volkswagen, у той час як BP, Shell Hydrogen є «паливними» партнерами. Урядовими партнерами є US Dept. of Transportation and Energy, California's Energy Commission, Air Resources Board» [6].

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 14

Тема 1. Ресурсозбереження та енергозберігаючі технології.

Ресурсозбереження (адаптовано з [1]). Для людства завжди актуальним є забезпечення енергією. Йдеться як про ресурси (їх вид, наявність, обсяги) так і про технології їх використання. Природні джерела енергії людство використовує нерационально. І хоча з часом в енергоспоживанні відбувся певний перерозподіл (див. [1], рис.1.1) проте найінтенсивніше людство використовує самі ті природні ресурси, які є непоновлюваними [1].

Разом з тим нерациональність використання енергії полягає в тому, що відбувається багаторазове перетворення одного виду енергії в інший, перш, ніж її використати, що спричиняє невиправдані втрати. У випадку забезпечення ДВЗ від енергії нафтового палива: видобувають нафту, нафту переробляють в паливо, в ДВЗ при згорянні палива отримують теплову енергію, а теплота частково перетворюється у механічну роботу. Окрім виснаження природних ресурсів, які за певних умов утворились і накопичувалися впродовж тисячоліть, за кожного перетворення частина енергії втрачається без вороття. Крім невиправданих втрат енергії на кожному етапі перетворення виникає погіршення стану довкілля забрудненням його шкідливими відходами та надходженням надмірної теплоти.

Вчені вважають, що з усієї використаної енергії людство реально споживає 50.3%. Щоб запобігти такому стану речей необхідно здійснювати пошуки і налагоджувати використання нетрадиційних джерел енергії.

У 2000 році для України прогнозували залучення для заміни викопного палива таких видів енергії 1) гідроенергетика 2) вітрова енергія 3) деревина 4) сільськогосподарські відходи 5) сонячна енергія 6) геотермальні ресурси.

Окрім пошуків додаткових джерел енергії необхідно удосконалення або розроблення принципово нових технологій отримання енергії з найефективнішим її використанням для потреб людства. Зокрема це відноситься і до ресурсозберігаючих технологій на автомобільному транспорті.

1.1. Технології виробництва електрики і тепла [2]

Типовими сучасними масовими виробниками електрики і, відповідно, тепла є теплові електричні станції (ТЕС), які в Україні давно вже фактично виробили свій ресурс, не кажучи вже про теплопостачальні мережі. Все це просто потребує повної заміни. ТЕС перетворюють так званий тепловий ефект хімічної реакції складових палива з киснем повітря на багатоступеневий спосіб, через що фінальний ефект від споживання енергії газу, мазуту чи вугілля тощо сягає 30 відсотків, не кажучи вже про різноманітне хімічне і теплове забруднення повітря. Використання газових турбін підвищує ефективність перетворення тепла в електрику вдвічі. Втім, ефект цей є скоріш

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 15

спекулятивним, приблизно таким, як виробляти електрику за допомогою бомби чи звичайної вибухівки, хоча тут і варто віддати належне талановитості і майстерності інженерів і дизайнерів — творців газотурбінних генераторів.

Гідроелектричні станції (ГЕС), попри свою уявну простоту, є, за даними різноманітних світових комісій з енергетики, найдорожчими. Дніпровський каскад ГЕС, у якому для того, щоб він хоч якось функціонував, потрібно підвищувати рівень води насосами, на що витрачається близько 30 % видобутої потім енергії.

Ресурсозберігаючі системи з паливними комірками. Технологію прямого перетворення хімічної енергії на електричну створено. Її назвали трохи незвично — «паливна комірка» — і вже випробували у промислових масштабах. Найкращі розробки енергетичних систем на основі керамічних паливних комірок працюють вже довше за 100 тисяч годин. Слова «паливні комірки», особливо у сполученні їх із воднем, останнім часом можна почути чи не найчастіше, коли йдеться про безпеку країн, про енергетику чи, особливо, про екологію. При цьому обізнані згадують і саме паливно-комірчане явище, яке через знані причини ще маловідоме в Україні, і пристрої, які можуть його практикувати, і технології, які вже у промисловості впроваджені чи ще тільки плануються, так і різноманітні пристрої, що використовують енергетичні системи, які виробляють електрику чи то для стимуляторів роботи серця з крові хворого, чи то для літаків і побутових потреб, тепло та воду і гази для гасіння пожеж (чи й інші речовини), розмаїття яких настільки вже є великим, що легше назвати галузі, де паливні комірки є ще невідомими.

Очевидно, що паливно-комірчана система потребує гасу на 75 % менше, будучи до того ж ще й значно чистішою екологічно як за рівнем викидів шкідливих речовин, так і практично безшумною. Компанія «Боїнг» почала запроваджувати свою паливно-комірчану систему у 2015 році [2]. З огляду на поточні події, важливо ще й те, що тоді ж ця компанія, закінчивши розробку і випробування, почала замінювати і традиційне авіаційне паливо на нове, штучне — відновне, яке вона розробила і вже почала виготовляти з морських водоростей algae. Це біопаливо виявилось навіть кращим і енергетично, і екологічно за авіаційний гас із нафти, що у поєднанні з дійсно безмежними можливостями світового океану робить цю енергетичну пару «Боїнга» — паливні комірки і біопаливо — революційною, дійсно відновною. Тоді ж, до речі, літєві акумулятори зазнали нищівної поразки. На нашу думку, як сигнал до того, що не можна намагатися «хапати Бога за бороду». Паливна комірка є електрохімічним пристроєм, який, поєднуючи паливний газ (водень, чадний газ, будь-який вуглеводневий газ, сірководень чи метангідрат Чорного моря, шахтний метан чи металургійний газ, аміак чи його сполуки) з окиснювачем (кисень з повітря тощо), виробляє електрику, тепло, воду і гази — оксиди речовин, сполучених з воднем у паливі тощо. До речі, ці вихідні гази (суміш азоту, двоокису вуглецю та водяної пари) можуть застосовуватися для гасіння

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***_ 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 16

пожеж. За принципом своєї дії така, як її раніше називали, «газова» паливна комірка подібна до звичайної електричної батарейки, що також є паливною коміркою, але, на відміну від неї, газова комірка не «спрацьовується», її не треба викидати на смітник чи перезаряджати. Вона працює доти, поки до неї підводяться паливні та окиснювальні гази. Гази в електрику перетворюються в комірці без звичайного спалювання. Складові паливного газу окиснюються не вибухово, як при спалюванні, а порівняно повільно, не вступаючи у безпосередній контакт з киснем, тобто дифузійно, бо у твердому тілі. Тому паливні комірки є високоефективними, екологічно чистими і негучними. Горіння паливного газу або ж його вибухова поведінка у паливній комірці є принципово неможливими, оскільки і паливний, і окиснювальний газ вступають у взаємодію лише дифузійно контрольованим чином через абсолютно щільну перегородку (твердий керамічний чи полімерний) електроліт

Як відмічено у роботі [2] «не будемо зосереджуватись на електриці з атомних станцій передусім тому, що, попри московську комуністичну риторіку, її отримують як побічний продукт з виробництва плутонію тощо, без чого атомну бомбу просто не можна виготовити. Мало хто, крім українців, має уявлення про атомну енергію у її чорнобильському виконанні. Не будемо торкатися і сонячних чи вітрових технологій та станцій».

1.2. Сучасні ресурсозберігаючі технології

Економіка замкненого циклу або **циркулярна економіка** (англ. *closed-loop economy, circular economy*) — модель економічного розвитку, заснована на відновленні та раціональному споживанні ресурсів, альтернатива традиційній, лінійній, економіці. Характеризується створенням нових альтернативних економічних підходів, завданням яких є мінімізація негативного людського впливу на довкілля.

Безсмітництво, безвідходна технологія (англ. *zero waste*, «нуль відходів») — це філософія скорочення продукування відходів, поряд з вторинним використанням та переробкою, покликана зменшити екологічне навантаження на планету. до зміни життєвих циклів ресурсів, так, що всі продукти використовуються повторно. Мета нуль-відходності: щоб сміття не потрапляло на смітники та сміттєспалювальні заводи, а мало життєвий цикл, аналогічний до повторного використання ресурсів в природі [1].

Визначення Міжнародного альянсу Zero Waste International: «Zero waste» — це моральна, економічна, ефективна і далекоглядна ціль, спрямована на зміну способу життя людей та заохочення до створення стійких природних циклів, де всі надлишкові матеріали призначені для того, щоб стати ресурсами для інших.

«Zero waste» має на меті розробку та управління продуктами і процесами для уникнення та усунення обсягу і небезпеки відходів та матеріалів. Важливим є збереження та відновлення всіх ресурсів, а не їх спалення чи поховання.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 17

Реалізація «Zero Waste» дозволить усунути всі викиди на землю, в воду або повітря, які загрожують планетарному, людському, тваринному або рослинному здоров'ю.

Деякі матеріали, що використовуються для виробництва автомобільного транспорту є дефіцитними, а деякі матеріали та речовини є потенційно небезпечними. Через те багато автомобільних компаній, наприклад шведська компанія VOLVO прагне зменшити свою залежність від таких матеріалів і речовин, і тим самим забезпечити ефективне використання екологічних ресурсів, захистити як людей, так і навколишнє середовище.

Світові транспортні компанії, наприклад, Volvo, використовують тристоронній підхід для того, щоб забезпечити декарбонізацію [3]:

1. Вже сьогодні акумулятори є ідеальним рішенням для більш коротких/середніх застосувань, таких як використання в межах міста для автобусів, збір сміття, місцева дистрибуція та регіональні перевезення, з регулярним поверненням до фіксованого депо, що дозволяє легко підзаряджати. У міру розвитку акумуляторних технологій та інфраструктури зарядки вона буде використовуватися також для більш тривалих і автомобільних вантажних перевезень.
2. Як доповнення до електричних рішень акумуляторів, водневі паливні елементи пропонують рішення для великовантажного та далекомагістрального автомобільного транспорту, для яких важко знайти хорошу електричну зарядну інфраструктуру або розмір акумулятора, необхідний для живлення машини, буде занадто громіздким. На відміну від акумуляторів, які зберігають використовувану електроенергію, паливні елементи виробляють власну електроенергію на борту із накопиченого водню в електрохімічному процесі.
3. Двигуни внутрішнього згоряння, які працюють на вдмінному від викопного паливі, такому як біогаз, відновлюваний водень та інші, є третім ключем до декарбонізації промисловості. Компанія VOLVO вірить, що абсолютна більшість комерційних автомобілів будуть електричними в майбутньому – тобто це будуть автомоіблі, які будуть використовувати або водневі паливні елементами або акумуляторні електричні. Але все таки ще довгобудуть використовуватися двигуни внутрішнього згоряння.

Спільне підприємство – (*cellcentric*) центр паливних комірок [3]. У 2021 році компанія VOLVO офіційно запустила *cellcentric*, спільне підприємство з Daimler Truck, з амбіцією стати провідним світовим виробником паливних елементів на водневому паливі. Коли використовується зелений водень на основі відновлюваних джерел енергії, вантажівки на паливних елементах можуть звести викиди вуглецю до нуля. Використання водню також може привести до скорочення викидів CO₂ з мінімумом інвестицій в мережу (розширення водневої інфраструктури) і на той час запропонувати можливість швидко масштабувати

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 18

транспортні засоби з нульовим рівнем викидів.

1.3. Підвищення паливної економічності ДВЗ автомобільного транспорту

Підвищення паливної економічності є надзвичайно важливим питанням, оскільки це напряму впливає на рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Використання турбонаддуву. Збільшення кількості повітря, що надходить у двигун дозволяє працювати на бідних сумішах, що знижує вихід СО і СН_x. Так як потужність дизелів регулюється подачею палива, а подається повітря не дросселирується, то при часткових навантаженнях використовуються дуже бідні суміші, що сприяє зменшенню питомої витрати палива. Займання бідної суміші в дизелях з наддувом не викликає труднощів, так як воно відбувається при високих температурах повітря

Підвищення механічного ККД. Механічний ККД двигуна залежить від типу використовуваного масла. Застосування в зимовий час масел підвищеної в'язкості призводить до зростання витрати палива. Потужність двигуна при великих висотах над рівнем моря падає внаслідок зменшення тиску атмосфери, проте його втрати практично не змінюються, внаслідок чого питома витрата палива зростає аналогічно тому, як це має місце при частковому навантаженні двигуна.

Методи відключення циліндрів. Якщо при частковому навантаженні багатоциліндрового двигуна вимкнути кілька циліндрів, то інші будуть працювати при більшому навантаженні з найкращим ККД. Так, при роботі восьмициліндрового двигуна з частковим навантаженням весь об'єм повітря можна направити тільки чотирьом циліндрах, їх навантаження збільшаться вдвічі і ефективний ККД двигуна підвищиться. Охолоджуюча поверхня камер згоряння у чотирьох циліндрів менша, ніж у восьми, тому кількість теплоти, відведений системою охолодження, знижується, і витрата палива може зменшитися на 25%.

Система старт-стоп. В автомобілях, система старт-стоп або стоп-старт система автоматично відключає і перезапускає двигун внутрішнього згоряння, щоб зменшити кількість часу витраченого двигуном на холостому ходу, зменшуючи тим самим витрату палива і викидів. Система є найвигіднішою для транспортних засобів, які витрачають значну кількість часу на світлофорах або часто стоять в заторах. Ця функція наявна в гібридних електричних автомобілях, але також з'явилася в транспортних засобах, що не оснащені гібридним електроприводом. Для не-електричних транспортних засобів, економія палива завдяки цій технології становить від 5 до 10 відсотків.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 19

Honda VTEC-E. SOHC VTEC-E має два режими роботи. При невеликих обертах обидва впускні клапани управляють своїми кулачками, але оскільки один з цих кулачків є кільцем, реально працює тільки другий клапан. Плюс за рахунок несиметричності потоку горючої суміші котра надходить (один клапан закритий, а другий відкритий) виникають збурення, які дозволяють працювати на досить бідній суміші. При збільшенні обертів спрацьовує система VTEC і обидва клапана починають управляти одним нормально кулачком. Основна мета використання подібної система - помітне зниження витрати палива і поліпшення екологічних показників. Варто також врахувати, що питома потужність двигунів з SOHC VTEC-E може виявитися менше аналогічних двигунів навіть без системи VTEC.

1.4. Витрата палива.

Одним із показників доцільності використання того чи іншого палива є потреба ТЗ в паливі. Розрахунок потреби в паливі здійснюють, базуючись на математичній моделі, яка стосується всіх типів рухомого складу автомобільного транспорту, а саме:

$$Q_{\text{н}} = H_s \frac{S}{100} (1 + D) + B \frac{W}{100} + G_1 \cdot \eta_{\text{т}}, \quad (1.1)$$

де H_s — лінійна норма витрати палива, л/100 км (вибирається за довідниками);

S — шлях, який пройдений автомобілем чи групою автомобілів за розрахунковий період часу, км;

D — поправка, яка враховує умови роботи автомобілів;

B — норма витрати палива на 100 т · км виконаної роботи (для автомобілів з бензиновими двигунами дорівнює 2,0 л/100 т · км; для дизельних автомобілів — (1,3 л/100 т · км);

W — транспортна робота автомобіля чи групи автомобілів за розрахунковий період часу роботи т · км;

G_1 — норма витрати палива в літрах на одну їздку автомобіля-самоскида з вантажем;

$\eta_{\text{т}}$ — кількість їздок автомобіля-самоскида з вантажем;

$$Q_{\text{н}} = H_s \frac{S}{100} (1 + D) + B \frac{W}{100} \quad . \quad (1.2)$$

У формулі (5.2) розглянемо методику розрахунку пройденого шляху S та виконаної роботи W .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*_ 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 20

Пройдений шлях S визначають по групах автомобілів за формулою:

$$S = D_1 \cdot l_{\text{сд}} \cdot A_i, \quad (1.3)$$

де D_1 — тривалість роботи рухомого складу в днях (задається викладачем);
 $l_{\text{сд}}$ — середньодобовий пробіг автомобілів, км (також задається викладачем як середнє значення по парку або ж середнє значення по групах автомобілів);
 A_i — чисельність автомобілів i -ої марки.

Після визначення шляху S розраховують величину виконаної роботи відповідними групами автомобілів i -ої марки:

$$W = S \cdot G \cdot \beta \cdot \gamma, \quad (1.4)$$

де G — вантажопідйомність автомобіля в тоннах, вибирають за довідниками;

β — коефіцієнт використання пробігу автомобілів;

γ — коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля.

Значення коефіцієнтів β і γ задає викладач, який веде практичні заняття.

За наявності значень S і W можна розрахувати потребу в паливі $Q_{\text{н}}$ для кожної групи автомобілів за марками.

Кінцевий розрахунок кількості палива повинен бути за його видами, а не за марками ДТЗ, тобто визначається потреба в дизельному паливі $Q_{\text{нд}}$ і в бензині $Q_{\text{нб}}$.

Для визначення економії витрат при переході на дешевше паливо потрібно визначити потребу в цьому паливі.

При розрахунках потреб в оливах і мастилі слід пам'ятати, що норма в табл 5.2 подається на 100 л витрати палива. Наприклад, потреба в моторній оливі для дизельних двигунів $Q_{\text{ів}}$ визначається за виразом:

$$Q_{\text{од}} = 4 \cdot \frac{Q_{\text{нд}}}{100}. \quad (1.5)$$

Аналогічно розраховується потреба в трансмісійній оливі та в консистентних мастилах. Результати розрахунків потреб в оливах та мастилах за їх видами та марками автомобілів групують за можливістю їх використання для декількох чи всіх марок автомобілів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 21

З іншої сторони, рівняння загальної витрати палива (л/100 км) можна записати наступним чином [4,5]:

$$Q = \frac{100M_a K_d}{H_H \rho_f \eta_a} = \frac{100M_a K_d}{H_H \rho_f \eta_i \eta_m \eta_t \eta_p} . \quad (1.6)$$

де M_a – маса автомобілю в кг; K_d – коефіцієнт якості дорожньо-транспортних умов роботи в м/с²; H_H – нижча теплота згоряння палива в кДж/л; η_a – загальний ККД автомобілю, η_m – ККД муфти.

Рівняння індикаторної витрати палива:

$$Q_i = Q \eta_i = \frac{100M_a K_d}{H_H \rho_f \eta_m \eta_t \eta_p} \quad (1.7)$$

В роботі [4] значення K_d прийнято 0,13.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 22

Тема 2. Використання альтернативних палив в автомобільному транспорті.

Використання нафтових палив викликає потрійний негативний ефект: локальне – забруднення повітря; регіональне – кислотні дощі; глобальне – парниковий ефект [1]. Найбільш розповсюдженим дизельним альтернативним паливом є дизельне біопаливо (біодизель), що являє собою, як правило, метиловий або етиловий ефір рослинної олії [2, 3]. В Європі є станції, де за бажанням можна заправити біодизелем автомобіль [3], в той же час багато енергетичних компаній (наприклад, Брітіш Петроліум) обов’язково додають у дизельне паливо певний відсоток біодизельного палива. Якщо палива першого покоління у Європі виготовляють з ріпакової олії та соєвої олії в США, то на даний час дослідження ведуться над паливами другого покоління, які мають виготовлятися з речовин, що непридатні для їжі або ж відходів виробництва. Це можуть бути, наприклад, відходи від виробництва безнаркотичної коноплі [4], або водорості [5].

Детальний огляд біодизельних палив першого покоління можна знайти в [2]; в [6] описані властивості біодизельних палив як першого так і другого покоління, що прогноуються з молекулярного складу палива. В роботі [7] аналізується згоряння та викиди біодизельних палив, включаючи конопляний біодизель. В роботі [8] приведені дослідження параметрів згоряння та викиди при використанні мікрководоростей у якості палива.

Інші палива, що обіцяють бути перспективними – диметиловий ефір (DME), та гідрована рослинна олія (HVO) або гідрована використана рослинна олія (HSCO). DME представляє собою газ за кімнатної температури, який потребує нових сховищ і систем доставки. Палива HVO та HWO не містять сірки та ароматичних складових частин. Цетанове число таких палив вище, ніж дизельного палива, в той же час змазуваність нижча [9].

До багатообіцяючої альтернативи відноситься також ультра-чисте високо-цетанове паливо, що одержують за допомогою процесу Fisher-Tropsch (FT). Це паливо часом називають синтетичним дизельним паливом або FT-паливом. FT-паливо може виготовлятися з натурального газу (кінцевий продукт - GTL), з вугілля (CTL), чи біомаси (BTL). FT-паливо також може бути змішане в довільній пропорції з дизельним паливом [1, 9]. GTL вже виробляється комерційно і продається у деяких Європейських країнах [1]. Властивості HVO подібні до GTL або BTL [9,10]. Виробництво, властивості, характеристики розпилювання та викиди у випадку використання біодизельного палива вже добре досліджені за останні 10 років. Відновлювальні та синтетичні види палива, що описані вище, ще потребують досліджень.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 23

2.1. Виробництво альтернативних палив.

Паливо HVO, або як його ще часто називають «відновлювальне дизельне паливо» (renewable diesel) виробляється, використовуючи процес, що називається «conventional hydrotreated catalysts» [11]. Під час піролізу часто використовують зіоліти як каталізатори, а гідрування (hydrotrating) виконується з каталізаторами NiMo/ γ -Al₂O₃ чи CoMo/ γ -Al₂O₃. В той час, коли піроліз потребує нормального тиску та підвищених температур то гідрування потребує підвищених температур та тиску [11].

Виробництво синтетичного палива BTL починається з подрібнювання та сушки біомаси, яка потім формується в пілети. Пілети далі перетворюють в «тліючий газ» (smoldering gas) та тверду фракцію під час низькотемпературного процесу і на наступному етапі відбувається трансформування в синтетичний газ. Після очищення газ перетворюють в рідину за допомогою FT-реакції. Під час реакції використовується кобальт або залізо як каталізатори, в результаті одержують в основному аліфатичні вуглеводні (C₄ - C₄₀). Рідина, що утворюється, представляє собою рідину типу парафінової і може бути далі гідрогенізована для збільшення стабільності і для більшої придатності у ДВЗ. Хоча є багато публікацій про FT-паливо, але інформації про BTL не багато [1]. В Україні палива, які одержані за допомогою FT-реакції, часто ще називають синтетичними паливами.

2.2. Властивості палив, альтернативних до дизельного палива

В таблиці 1 показані властивості дизельного палива (7% RME), HSCO, HVO та суміші 70 % HVO та 30% дизельного палива.

Таблиця 2.1.

Властивості палив

Властивості	Одиниці вимірювання	Дизельне (7% RME) [9]	Дизель не EN 590 [10]	HSCO [9]	HVO [10]	HVO 70% EN 590 (30%) [10]
Густина, 60°C	кг/м ³	832.4	—	756	—	—
Густина, 15°C	кг/м ³	—	843.0	—	779.7	824.0
Кінематична в'язкість, 40°C	мм ² /с	3.236	3.208	3.691	3.087	3.165
Температура	°C	59	68	84	99	74

займання						
Температура поmutніння (Cloud point)	°C	–5	–5	7	–20.5	–6
CFPP	°C	–5	–	19	–	–
Теплота згоряння	МДж/кг	43	45.99	44	47.27	46.35
Ефективна теплота згоряння	МДж/кг	–	43.13	–	44.04	43.38
	МДж/л	–	36.35	–	34.34	35.75
Цетанове число		56.5	54.6	>80	>70	>65
Цетанове число (IQT™)		–	57	–	95	71.9
Температура 90% дистиляції	°C	344	343	310.6	298	332
Кінцева точка кипіння	°C	367	363	347.5	313	358

В роботах [12,13,14] були досліджені біодизельні та FT-палива. В таблиці 2.2 показано порівняння властивостей альтернативних палив RME та GTL з дизельним паливом ULSD. GTL має більшу теплоту згоряння, ніж дизельне та біодизельне паливо та набагато більше цетанове число. В роботі [12] проведені дослідження над альтернативними паливами, властивості яких показані в таблиці 3 в порівнянні з дизельним паливом.

Таблиця 2.2

Порівняння властивостей дизельного палива ULSD, RME та GTL

Властивості Палива	Одиниці вимірювання	ULSD [14]	RME [14]	GTL [14]
Густина, 15°C	кг/м ³	827.1	883.7	786.4
Кінематична в'язкість, 40°C	мм ² /с	2.467	4.478	3.497
Нижча теплота згоряння	МДж/кг	42.7	37.4	43.9

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 25

Цетанове число		53.9	54.7	80
50% дистиляції	°C	264	335	295.2
90% дистиляції	°C	329	342	342.1
Сірка	мг/кг	46	5	<10
Ароматичні вуглеводи	% ваги	24.4	~0	0.3
O	% ваги	~0	10.8	~0
C	% ваги	86.5	77.2	85
H	%ваги	13.5	12.0	15
H/C *відношення		1.88	1.85	2.10

*H/C - молярне відношення

Таблиця 2. 3.

Властивості альтернативних дизельних палив у порівнянні з дизельним паливом

Палива	Густина, 40 °C, (г/мл)	Кінематична в'язкість, 40°C, (мм ² /с)	Поверхневий натяг, (мН/м)
Дизельне паливо (D)	0.83	2.65	30.3
Біодизель (B100)	0.87	4.60	34.7
20% біодизеля +D (B20)	0.84	3.04	27.7
Відновлювальне дизельне паливо (R)	0.76	2.48	30.3
Авіаційне паливо «Jet A» (J)	0.79	1.15	28.7

Біодизельне паливо (B100), властивості якого приведені в Табл. 2.3, було виготовлено з використаної олії. Відновлювальне паливо (R), що складалося з суміші н-алканів та ізо-алканів було виготовлене з канолової олії. Відновлювальне дизельне паливо не містить кисню на відміну від біодизельного палива і має найменшу густину—із розглядуваних палив, що показні в Табл. 3. Біодизель має максимальні значення густини, в'язкості та поверхневого натягу. Відновлювальне дизельне паливо має такий же самий поверхневий натяг, як і дизельне паливо. Паливо (J), як правило, використовується для наземного транспорту в аеропортах, для того щоб зменшити кількість різних палив [12].

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 26

2.3. Розпилювання палива.

В роботі [9] показані експериментальні дослідження на двигуні Toyota IND (дизельний двигун Euro 5) з використанням системи безпосереднього впорскування Common Rail. Двигун працював чотири години при швидкості 2500 об/хв і навантаженні 100 Н×м. В роботі [12] також використовувалась система Common rail та форсунка з одним отвором для аналізу розпилювання альтернативних палив. Тиск впорскування був 300, 500, 800, 1000 бар за атмосферного тиску в двигуні. Час впорскування був 1.5 мс. На рис. 2 показаний струмінь розпилювання і параметри впорскування, що досліджувались.

Діаметри крапель за Заутером при розпилюванні палива. Експериментальні дослідження [12] показують, що краплі біодизельного палива мають більші середні діаметри крапель за Заутером (SMD), ніж краплі дизельного палива за різних тисків впорскування (подовженність впорскування 1.5 мс). Автори [12] вважають, що причиною зміни діаметрів крапель є більший поверхневий натяг і в'язкість біодизельного палива. Більша в'язкість веде до нижчої швидкості потоку, що приводить до більших крапель. Менший поверхневий натяг допомагає струменю, що розпилюється, легше розділитися на більш дрібні краплі. Причому, в'язкість робить більший вклад у розміри крапель, ніж поверхневий натяг [12].

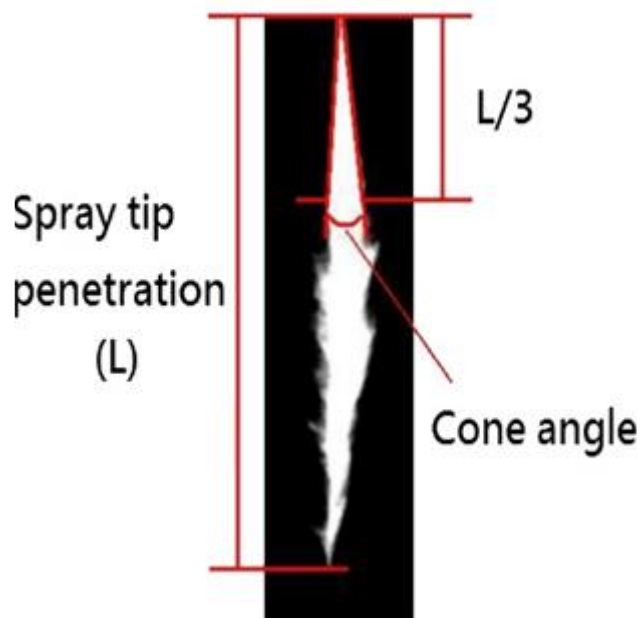


Рис. 2. 2. Зображення паливного струменя [12], де показані довжина конуса розпилювання «spray tip penetration» та кут розпилювання «cone angle»

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 27

У дослідженнях [12] найменші за розміром краплі були знайдені вздовж осі конуса розпилювання, причому розміри крапель були більшими на периферії розпилювання. Причина цього, що тиск розпилювання менший на периферії і дорівнює оточуючому тиску. На радіальній відстані біля 1 см (що вже за зоною периферії), розпилювання стає нещільним і розрідженим, і розмір крапель зменшується знову. Найменші середні діаметри крапель спостерігались для палива *J*, трохи менші для палива *R* при малих тисках впорскування. Діаметри крапель за Заутером для палива *R* були майже такими, як і для палива *J* при збільшенні тиску впорскування.

Розподілення крапель. Хоча паливо *R* мало такий же самий поверхневий натяг, як і дизельне паливо, але розподілення крапель цього палива було близьке до біодизельного палива при тиску 300 бар, а також близьке до крапель палива *J* при вищих тисках впорскування [12]. Це означає, що швидше всього поверхневий натяг палива мало впливає на процеси розподілення крапель.

Довжина конуса розпилювання. Довжина конуса та кут розпилювання в дослідженні [12] були усереднені з 5 експериментів кожного зображення як для дизельного, так і біодизельного палива. Довжина конуса розпилювання палив, як правило, збільшується зі збільшенням тиску впорскування. Так, наприклад, для дизельного палива, довжина конуса розпилювання була 10 см при тиску впорскування 300 бар; та 14 см при тиску впорскування 100 бар. Найменшу довжину конуса розпилювання показувало в основному паливо *R*, а також *J*, із-за їх меншої густини, як вважають автори [12]. Найменше значення конуса розпилювання для палива *R*, у порівнянні з *J*, пов'язано з тим фактом, що паливо *J* має дуже низьку в'язкість (1.15 мм²/с). Ця екстремально низька в'язкість знижує тертя між паливом та поверхнею отвору форсунки і викликає вищу швидкість виходу з отвору форсунки.

В роботі [12] було розраховано об'єми розпилювання як експоненціальні криві під низьким тиском (300 бар), використовуючи наступну залежність:

$$V = (\pi/3)S^3 \left[\tan^2(\theta/2) \right] \frac{1 + 2 \tan(\theta/2)}{[1 + \tan(\theta/2)]^3},$$

де *S* – довжина конуса розпилювання, та θ – кут конуса розпилювання.

При високому тиску впорскування паливо поставляється швидше, ніж при низькому тиску і досягає рівноважного стану швидше. Більший об'єм розпилювального струменю спостерігається за більшого тиску тиску впорскування для дизельного палива [12]. Наприклад, об'єм розпилювання виріс з 9 см³ до 19 см³ за часу 1.5 мс після початку роботи тригера, коли тиск

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 28

впорскування збільшувався від 300 бар до 1000 бар.

Біодизельне паливо показувало більший об'єм розпилювання при всіх тисках розпилювання. В роботі [12] зроблено висновок, що така тенденція в основному визначається довжиною конуса розпилювання (spray penetration length), так як варіації у зміні кута були незначні для дизельного палива у більш пізні часи розпилювання. Найменший об'єм палива одержався для відновлювального палива R, що має найменшу густину із досліджуваних палив. Найбільший об'єм при розпилюванні показало біодизельне паливо, яке мало найбільшу густину. Цікаво, що паливо B20 показало менший об'єм при розпилюванні, ніж дизельне паливо. Тут видається дивним дуже низький поверхневий натяг B20. Як правило, очікується, що суміш займе проміжкове значення між своїми компонентами, але ця тенденція не спостерігалась у випадку B20. На нашу думку, на довжину конуса розпилювання та на об'єм впорскнутого палива B20 вплинув поверхневий натяг палива.

2.4. Викиди при використанні альтернативних дизельних палив

Використання біодизеля у якості палива для дизельних двигунів, як правило, приводить до більших викидів оксидів азоту та зменшення викидів сажі. Зменшення викидів сажі при використанні біодизельного палива пов'язано з присутністю кисню у складі молекули біодизельного палива, а також, що більш важливо, відсутністю циклічних вуглеводнів у складі біодизельного палива. Детально дослідження викидів при роботі двигуна на біодизельному паливі можна знайти в [15, 16]. Формування NO_x залежить також від вмісту кисню у паливі, від температури в циліндрі двигуна, затримки займання. Довший ланцюжок і більша кількість ненасичених жирних кислот в біодизелі корелюють зі збільшенням NO_x викидів [9]. Викиди для соєвого біодизелю та біодизелю з мікроводоростей проаналізовані в роботі [10]. Експериментальні дані, що одержані дослідниками [10] приведені в таблиці 4.

Таблиця 2. 4.

Експериментально одержані викиди для B100 соєвого біодизельного палива при кількості обертів двигуна 2200 об/хв [10]

Кількість Обертів (об/хв)	Момент (Нм)	NO_x (ppm)	CO (ppm)	HC (ppm)	CO_2 (ppm)	A/F	O_2 (%об'єму)	Lambda	*M (мг)
2200	2.5	75	400	18	26400	93.7	17.5	6.52	8.027
2200	5	96	400	19	36600	70.1	16.2	4.85	14.335

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015							Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1							Арк __ / 29

2200	7.5	113	700	19	49800	51.2	14.7	3.63	17.059
2200	10	128	2600	21	67800	34.2	12.1	2.45	24.335

*М - маса палива, що впорскнута за цикл

Паливо HVO мало менші викиди CO₂ (-2%) та більші викиди окислів азоту (+5%) в порівнянні з дизельним паливом.

2. 5. Аналіз витрати палива для альтернативних палив.

Відомо, що витрата палива автомобіля, що працює на біодизельному паливі більша, ніж автомобіля, що працює на дизельному паливі. Зрозуміло, що властивості альтернативних палив залежать від молекулярного складу палива. Як відомо, біодизельне паливо складається з суміші метилових ефірів жирних кислот, причому кожна молекула палива вносить різний вклад у витрату палива. Припустимо двигун працює на біодизельному паливі, що складається з молекул одного типу. З точки зору індикаторної теплової (indicated thermal) ефективності $\eta(\%)$, термічна ефективність складової C18:1M буде 33.19% та дизельного палива - 31.7%. Тоді, термічна ефективність складової C18:1 M більша, ніж дизельного палива на 4.7%.

При використанні палива HVO, масова витрата палива знижується в порівнянні з дизельним паливом, тому що маса палива, що базується на ефективному тепловому значенні палива, є більшою. Об'ємна витрата палива збільшується з використанням HVO, тому що це паливо має нижче об'ємне теплове значення палива [10].

Використання відновлювального дизельного палива знижує питому витрату палива та викиди оксидів азоту в порівнянні з дизельним паливом на всіх навантаженнях та швидкостях, як показано в роботі [10]. Зниження питомої витрати палива відбувається за рахунок більшого значення «ефективного теплового значення» для HVO. Можливе збільшення потужності двигуна може бути пов'язано з більшим цетановим числом HVO, та значить з меншою затримкою займання.

2.6. Моделювання процесу розпилення.

Максимальна довжина конуса розпилювання. В роботі [15] (Sandia National Laboratory) була досліджена максимальна довжина конуса розпилювання $S_{liq\ max}$ для різних альтернативних палив і були представлені деякі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 30

цікаві інженерні залежності. Було показано, що $S_{liq\ max}$ можна знаходити, використовуючи залежність [15]:

$$S_{liq\ max} / d_0 = kA^\alpha B^\beta, \quad (2.1)$$

де A , B – параметри; k , α , β – коефіцієнти; d_0 – діаметр форсунки.

Для однокомпонентних палив значення параметрів A та B можна знайти, виходячи з наступних залежностей [15]:

$$A = \frac{\rho_f}{\rho_a}, \quad (2.2)$$

$$B = \frac{C_{p,liq}(T_b - T_f) + L}{C_{p,air}(T_{air} - T_b)}, \quad (2.3)$$

де ρ_f – густина палива;

ρ_a – густина газу в циліндрі; L – скрита теплота випаровування;

T_f – початкова температура; T_b – температура кипіння палива;

$C_{p,liq}$ – питома теплоємність палива при постійному тиску;

T_{air} – температура газів в циліндрі ($T_{air} = T_a$).

В таблиці 5 показані значення параметрів палив за нормальних умов, що приведені в роботі [15]. Густина та питома теплоємність були оцінені за 298 К. Скрита теплота випаровування і температура кипіння (90%) були оцінені за тиску 101 КПа.

Таблиця 2.5

Значення параметрів палив за атмосферних умов (101 КПа та 298 К)

Параметр	Одиниці Вимірюван ня	Метиловий спирт (М100)	Соєве бідизельне паливо (В100)	Дизель не паливо (DF2)	Фішер- Тропш* дизель (FTD)	Бензин, без вмісту свинцю (HSG)
Густина	кг/м ³	790	892	845	782	737
Питома теплоємні сть	Дж/кг/К	2824	3122	3197	3197	2235
Скрита теплота випаровув ання	кДж/кг	1100	243	224	224	335
T_{90}	К	338	630	576	611	421
С/Н/О		38/13/50	78/12/10	86/14/ 0	85/15/0	87/13/0

*Фішер Тропш (Fischer- Tropsch)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 31

Як бачимо з таблиці 2.4, парафінове паливо відрізняється від дизельного палива температурою дистиляції. На рис. 2.1 показано максимальну довжину конуса розпилювання для різних альтернативних палив, що підрахована, виходячи з формул (1), (2), (3). Відмітимо, що ці формули одержані тільки для певного розміру отвору форсунки. Отже, даний підхід потребує коректування щодо зміни отвору форсунки. Максимально наближеними до дизельного палива одержались палива HVO та HWO, тому що ці парафінові палива мають таку ж скриту теплоту випаровування та теплоємність, як і дизельні палива, але вони мають нижчу густину і нижчу температуру дистиляції.

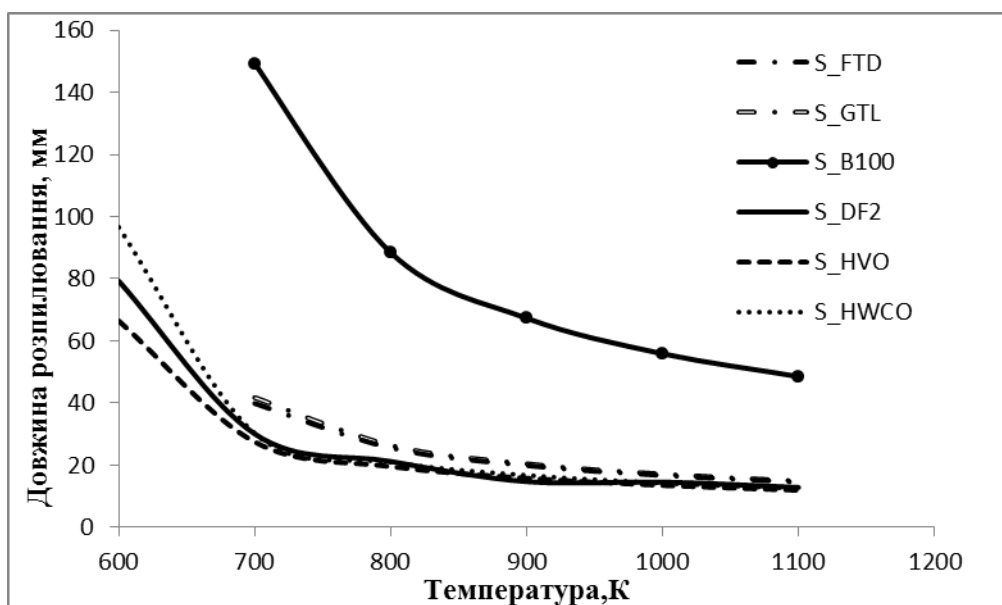


Рис. 2.1. Максимальна довжина конуса розпилювання для альтернативних палив HVO, HWCO, FTD, GTL та B100 у порівнянні з дизельним паливом DF2

Виходячи з досліджень [12], найменшу довжину конуса розпилювання мало паливо *R*, а найбільшу довжину конуса розпилювання мало паливо *B100*. Значення довжини конуса розпилювання згідно експериментальних даних [12] можна записати як послідовність (від меншого до більшого): *R, J, B20, D, B100*. Вірогідніше, в значенні довжини конуса розпилювання найбільшу роль відіграє густина палива, що має майже таку ж послідовність, як і довжина конуса розпилювання (*R, J, D, B20, B100*) за виключенням *B20*. Швидше всього, більші розміри крапель при розпилюванні палива *B20*, у порівнянні з *B100*, пов'язані з найнижчим значенням поверхневого натягу в порівнянні з іншими розглянутими паливами.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 32

Середній діаметр крапель. Середній діаметр крапель при розпилюванні (діаметр Заутера або SMD) можна порахувати за формулою, що приведена в роботі [2]:

$$SMD = Ad_0^{xd} \Delta P^{xp} \rho_g^{xro} LP^{xl}, [\text{м}] \quad (2.4)$$

де d_0 – діаметр вихідного отвору форсунки [м], ρ_g – густина газу [кг/м³], $\Delta P = P_f - P_g$, P_f – тиск впорскування палива, P_g – тиск газу в циліндрі, [Па]. $LP = \mu_f^2 / (\sigma \rho_f)$ – параметр довжини [м], ρ_f – густина палива [кг/м³], σ – поверхневий натяг палива [Н/м], μ_f – динамічна в'язкість палива [Па×с].

Формула (2.4) була перевірена для дизельного палива та метилового ефіру ріпакової олії (біодизельного палива) при значенні коефіцієнтів $A = 23$; $xd = 0,35$; $xr = -0,54$;

$xro = 0,06$; $xl = 0,1$.

В'язкість палива призводить до зміни параметрів розпилювання, викликаючи збільшення довжини струменя, зменшення кута розпилювання і збільшення діаметра крапель. На рис. 2.2 показані середні діаметри крапель за Заутером, що підраховані за формулою (2.4) для різних альтернативних палив, властивості яких показані в таблиці 3 у порівнянні з експериментальними даними [12].

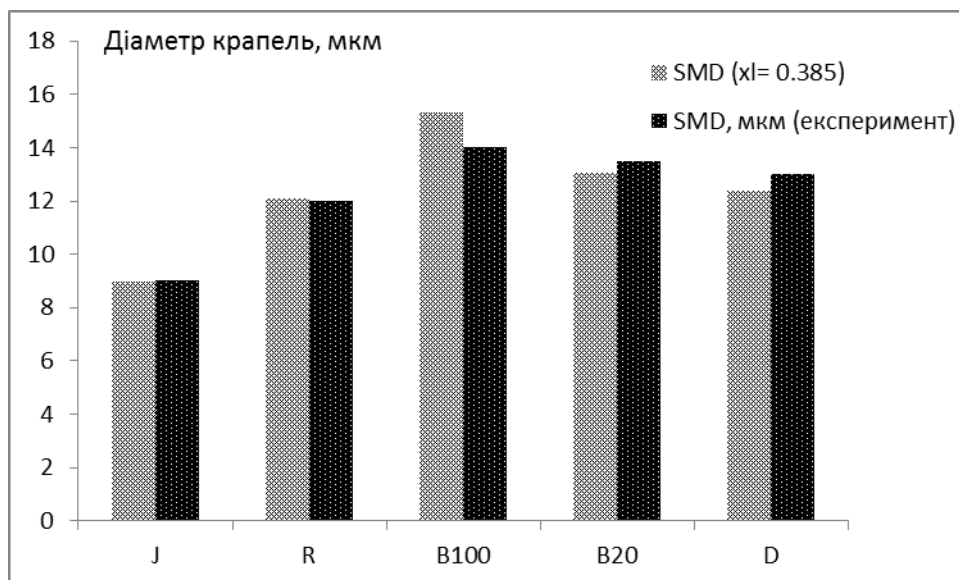


Рис. 2.2. Середній діаметр крапель при розпилюванні для альтернативних палив J, R, B20, B100 у порівнянні з дизельним паливом D

З рисунку 2.2 видно, що середні діаметри крапель за Заутером (SMD), які одержані за формулою (4) показують гарне співпадання з експериментальними

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 33

даними [12]. Найменші діаметри крапель показують палива R , J , а найбільші - біодизельне паливо. Домінантну роль тут відіграє в'язкість та в меншій мірі густина палива. Роль поверхневого натягу в розмірі крапель ще до кінця не вияснена. Виходячи як з експериментальних досліджень, так і з моделювання середнього діаметру крапель, найближчим паливом до дизельного палива можна вважати відновлювальне паливо (паливо R на рис. 2.2).

Висновки. Розглянуто альтернативні палива для дизельних двигунів: відновлювальне дизельне паливо (HVO) та синтетичне паливо (BTL) в порівнянні з дизельним та біодизельним паливом. Виходячи з характеристик розпилювання, найближчим паливом до дизельного палива можна вважати відновлювальне паливо.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 34

Тема 3. Шкідливі викиди від автомобільного транспорту. Програма COPERT.

COPERT - це програма Microsoft Windows, яка розроблена як європейський інструмент для розрахунку викидів з автомобільного сектору. Підраховані викиди включають регульовані (CO, NO_x, VOC, PM) та нерегульовані забруднювачі (N₂O, NH₃, SO₂, NMVOC). COPERT 5 - це оновлена версія COPERT 4, що включає як переглянуті методологічні елементи, так і перероблений користувацький інтерфейс, спрямований на компіляцію складних щорічних національних кадастрів, які включають кілька країн та років в одному файлі.

3.1.Описання програми COPERT.

Програма COPERT має логотип, що показаний на рис. 3.1.



Рис.3.1. Логотип програми COPERT.

На рис. 3.2 показаний початковий екран програми COPERT.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 35

Рис.3.2. Початковий екран

Робоче вікно програмного середовища Copert показано на рис.3.3.

Рис.3.3. Робоче вікно програмного середовища Copert

3.2. Вдосконалення, що були зроблені у версії програми COPERT 5.

Основні вдосконалення, які були зроблені у версії COPERT 5.

1. Доступ до файлу mdb → компактне видання SQL;
2. Покращений програмний інтерфейс;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 36

3. Розрахунок довгих часових рядів в одному файлі;
4. Значно скорочений час розрахунку;
5. Розширений експорт, щоб включити всю вхідну та вихідну інформацію;
6. Агреговані фактори (гарячі та холодні);
7. Кнопка скасування;
8. Косметичні та операційні зміни.

Невеликі вдосконалення COPERT 5:

1. Розширена процедура оновлення програмного забезпечення;
2. Імпорт / експорт у різні типи файлів (xls,xlsx, csv).

Нові методологічні особливості COPERT 5:

Паливо:

1. Енергія палива замість розрахунків маси палива;
2. Розрізнення між основним та кінцевим (сумішами) палива;
3. Автоматизований енергетичний баланс.

Типи транспортних засобів:

1. Оновлена назва категорії автомобіля;
2. Нові типи транспортних засобів;
3. Рівень технології контролю викидів.

3.3.Основні форми програми COPERT

Характеристики оточуючого середовища (Environmental Information).

У цій формі потрібно вказати значення середньомісячних мінімальних та максимальних температур, а також відносної вологості за місяць у країні, в якій відбуваються перевезення. Ці значення можуть бути різними для кожного року. Це потрібно для розрахунку навантаження кондиціонера повітря та випаровування палива. Високі значення відносної вологості повітря означає більше навантаження на кондиціонер, що збільшує споживання палива.

Характеристики поїздки (Trip Characteristics). За допомогою цієї форми користувач може змінити середню тривалість поїздки в км і тривалість поїздки в годинах.

Технічні характеристики палива (Fuel Specifications). У цій формі користувач повинен надати дані для специфікацій палива, таких, наприклад, як

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 37

теплота згоряння та густина палива. Також передбачено співвідношення кількості атома водню у паливі до кількості атомів вуглецю (відношення Н:С). Запропоновано кілька значень вмісту важких металів та співвідношення О:С. Однак ці значення можна змінити, якщо є більш точні цифри. Ці дані можуть бути різними для кожного року.

Розширені технічні характеристики палива (Fuel Advanced Specifications). У цій формі користувач повинен надати дані «Розширені технічні характеристики палива» та зробити вибір між трьома видами палив: 1996 (Базове паливо, Base Fuel), 2000 (Стан 2000, Stage 2000) та 2005 (Стан Stage 2005) зі спадного списку «Fuel Year (Рік палива)». Значення за замовчуванням - 1996. Якщо цей параметр обраний, тоді передбачається, що всі транспортні засоби будуть працювати на звичайному - базовому паливі (відповідає середній ринковій якості палива ЄС-1996). Впровадження покращених типів палива Stage 2000 та Stage 2005 матиме позитивний вплив не лише на відповідні технології транспортних засобів, які запуснені у 2000 та 2005 роках відповідно, але й на старіші технології транспортних засобів.

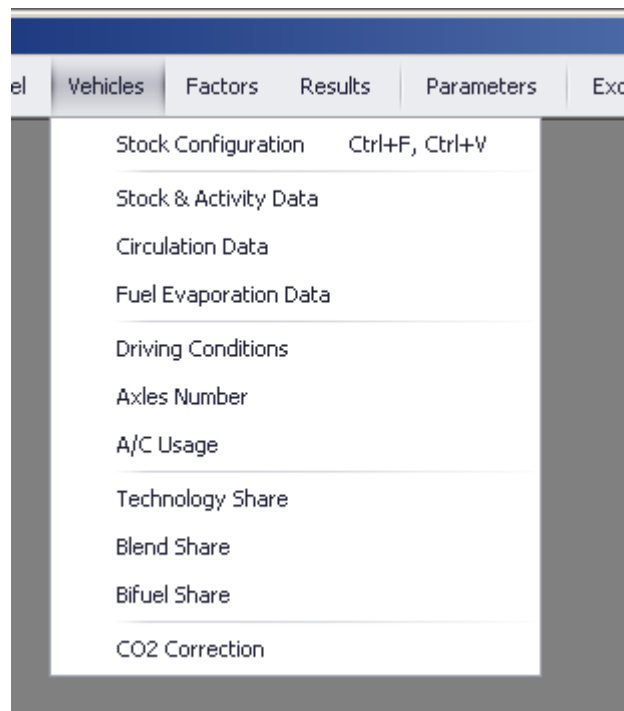
Статистичне споживання палива (Fuel Statistical consumption)

У цій формі користувач повинен надати статистичне споживання енергії у випадку, якщо потрібно розрахувати енергетичний баланс у програмі COPERT. Надання значень недостатньо, користувач також повинен вибрати опцію "Застосувати статистичну корекцію (Apply statistical correction)". Наведені тут дані є лише для первинного палива, і є можливість надати 2 різних значення споживання енергії бензину, дизельного палива та LPG (скрапленого газу), якщо така інформація існує. Різні значення означають, що у формі [Fuel>Specifications](#) різні характеристики задаються користувачем.

Для збалансування статистичного та розрахованого енергоспоживання програмне забезпечення дотримується двоступеневого підходу. По-перше, він відповідає співвідношенню споживання енергії та біологічної енергії, визначеному в статистичних значеннях шляхом зміни типу суміші та частки суміші ([Vehicles>Blend Share](#)). Коли це буде досягнуто, застосовується друга модифікація пробігу у вигляді коригуючого коефіцієнта для відповідності загальному статистичному рівню споживання енергії. Ці оновлені значення як для характеристики паливної суміші, так і для річного пробігу потім використовуються для обчислення загальних викидів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 38

Транспортні засоби (Vehicles). Цей пункт містить усі інструменти для опису складу парку транспортних засобів та поведінки поточного пробігу. Під пунктом меню «Транспортні засоби» можна знайти команди «Конфігурація запасів», «Запаси та дані про активність», «Дані циркуляції», «Дані випаровування палива», «Умови водіння, Номер осей, використання кондиціонера», «Частка технології», «Частка суміші», «Частка біфулею» та «Виправлення CO2». Меню вибору транспортного засобу показано на рис. 3.4.



- Stock Configuration
- Stock & Activity Data
- Circulation Data
- Fuel Evaporation Data
- Driving Conditions
- Axles Number
- A/C Usage
- SCR Usage
- Blend Share
- Bifuel Share

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 39

- Technology Share
- CO2 Correction

Рис. 3.4. Меню вибору транспортного засобу

Меню вибору транспортного засобу, що зображено на рис. 3.4, можна представити українською мовою, як показано нижче.

- Конфігурація запасів;
- Дані про запаси і діяльності;
- Циркуляційні дані;
- Дані випаровування палива;
- Умови водіння;
- Кількість осей;
- Використання кондиціонера;
- Використання SCR;
- Частка суміші;
- Частка біопалива;
- Використання технологій;
- CO2-корекція.

Опишемо з яких пунктів складається меню Транспортні засоби (Vehicles).

Конфігурація транспортних засобів (Vehicles Stock Configuration). За допомогою цієї форми користувач може вибрати, які типи транспортних засобів будуть знаходитися у парку вибраного року. Якщо користувач хоче видалити транспортний засіб з парку, він може зняти його знову, натиснувши прапорець Вибрати. Користувач також може застосувати конфігурацію флоту до інших років обраного циклу, перевіривши всі роки в нижній частині форми. Після завершення конфігурації натисніть ОК, і відповідні дані будуть оновлені. Це може зайняти деякий час, залежно від продуктивності комп'ютера.

Дані про запаси та діяльність (Vehicles Stock & Activity Data). У цій формі користувач може вводити дані про запаси, середньої активності (км / год) і накопиченої активності за весь термін служби (км). Сукупний пробіг за життєвий цикл важливий як для розрахунку випарних викидів, так і для оцінки параметрів деградації пробігу. Це значення є середня відстань, пройдену кожним транспортним засобом певного технологічного рівня з моменту його появи на ринку. Потім це значення використовується для розрахунку коефіцієнта деградації викидів в залежності від віку транспортного засобу (або загального пробігу). Для фільтрації секторів транспортних засобів використовуйте список, що випадає в лівому верхньому кутку форми.

Новою важливою властивістю цієї форми є оновлена діяльність, розрахована з метою балансування енергоспоживання. Якщо користувач хоче виконати баланс енергії, то для того, щоб розраховане споживання відповідало

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 40

статистиці, COPERT розраховує нове середнє значення Активності. Ця діяльність використовується для розрахунку не тільки енергоспоживання, але і викидів. Представлені тут значення не оновлюються.

Дані по випаровуванню палива в транспортному засобі (Vehicles Fuel Evaporation Data). У цій формі користувач може вводити дані про розмір паливного бака (л), розмірі каністри (л), відсотковій частці транспортних засобів, оснащених системою уприскування палива (%), відсотковій частці транспортних засобів, оснащених системою контролю випаровування (%) і розподілі випаровуються викидів по різних режимах руху (%). Для фільтрації секторів транспортних засобів використовуйте список, що випадає секторів в лівому верхньому кутку форми.

Частка використання біопалива у транспортних засобах (Vehicles Biofuel Share). У цій формі користувач визначає частку використання кожного виду палива, споживаного транспортним засобом, що працює на двопаливного паливі. Ця форма заповнюється тільки в тому випадку, якщо транспортні засоби на двопаливного паливі були додані в парк транспортних засобів. Вплив кожного спожитого палива на викиди або споживання енергії можна знайти в методологічному звіті COPERT.

Загальний обсяг викидів (Results Total Emissions). У цій формі (формах) поворотною таблиці користувач може переглядати і експортувати результати розрахунків за всіма забруднюючими речовинами, типам транспортних засобів, режимам водіння і типам викидів (гарячий, холодний, випаровування і т.д.). Результати наведені в тоннах, а то й заявлено інше (наприклад, кг). Ця інформація не оновлюється.

Результати, що передбачають коефіцієнти викидів (Results Implied Emission Factors). Ця форма (Форми) поворотною таблиці надає передбачувані коефіцієнти викидів для всіх забруднюючих речовин і споживання енергії в г / км або МДж / км. Користувач може вибрати рівень агрегування, перемістивши відповідний заголовок в верхню область форми. Всі значення перераховуються автоматично. Зверніть увагу, що це припускаються коефіцієнти викидів, що означає, що вони залежать не тільки від швидкості руху, а й від конфігурації парку транспортних засобів і вхідних даних (наприклад, температури) кожного пробігу. Дані не оновлюються.

Результати викидів NMVOC (Results NMVOC Emissions). У цій формі користувач повинен надати статистичне споживання енергії у випадку, якщо потрібно виконати енергетичний баланс в програмі COPERT. Надання значень недостатньо, користувач також повинен вибрати "Застосувати статистичну корекцію". Наведені тут дані є лише для первинного палива, і існує

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 41

можливість надати 2 різні значення споживання енергії бензину, дизеля та скрапленого газу, якщо така інформація існує. Різні значення означають, що [Fuel>Specifications](#) умови формуються користувачем різні характеристики палива.

Для того, щоб збалансувати статистичне і розрахункове споживання енергії, програмне забезпечення використовує двоетапний підхід. На першому етапі він відповідає коефіцієнту споживання енергії на викопне / біо, визначеному в статистичних значеннях, шляхом зміни типу суміші та частки суміші Транспортні засоби > Blend Share. Як тільки це досягається, далі використовується поправочний коефіцієнт для відповідності загальному статистичному рівню енергоспоживання. Ці оновлені значення як для характеристик паливної суміші, так і для річного пробігу використовуються для розрахунку загального обсягу викидів.

Параметри, гарячий пуск (Parameters Hot). За допомогою цієї форми користувач може переглядати і редагувати параметри гарячих викидів, які використовуються для розрахунку коефіцієнтів гарячих викидів в формі Factors> Hot Emission Factors (Коефіцієнти гарячих викидів). Користувач може переглянути параметри для кожної забруднюючої речовини і типу транспортного засобу. У разі різних режимів водіння можуть також застосовуватися різні параметри.

Параметри, холодний пуск (Parameters Cold). За допомогою цієї форми користувач може переглядати і редагувати параметри холодних викидів, які використовуються для розрахунку коефіцієнтів надлишку холодних викидів в формі Factors> Cold Emission Factors (Коефіцієнти надлишку холодних викидів). Користувач може переглянути параметри для кожної забруднюючої речовини і типу транспортного засобу. У разі різних режимів водіння можуть також застосовуватися різні параметри.

Параметри А / С (Parameters A/C). За допомогою цієї форми користувач може переглянути і відредагувати параметри, які використовуються для розрахунку додаткових викидів CO₂, що утворюються при використанні кондиціонера повітря в легковому або легкому комерційному автомобілі.

Параметри споживання мастила (Parameters Lubricant Consumption). Мастило використовується в двигунах для зменшення тертя і охолодження конкретних компонентів. Мастило надходить в камеру згоряння і окислюється в процесі згоряння, перш ніж викидається в атмосферу. Вуглеводневий склад мастила означає, що воно ненавмисно сприяє викидам CO₂ без участі в енергоспоживанні автомобільного транспорту. Винятком є двотактні двигуни, в яких мастило навмисно подається в циліндр, а частина мастила може бути використана для подачі деякої енергії в двигун (особливо в старих двотактних двигунах). За допомогою цієї форми користувач може переглянути і відредагувати параметри, які використовуються для розрахунку витрати мастильного матеріалу в кожній категорії транспортних засобів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 42

Параметри СН₄ холодний (ParametersCH₄ Cold). У цій формі користувач може переглядати та редагувати коефіцієнти викидів холоду для розрахунку СН₄.

Співвідношення параметрів NO₂ та NO_x (Parameters Share of NO₂ over No_x). У цій формі користувач може переглядати і редагувати частку NO₂ поверх NO_x, використовувану для розрахунку викидів NO₂.

Частка ЕС і ОМ в викидах РМ (Parameters Share of EC & OM over PM). У цій формі користувач може переглядати і редагувати частку елементарного вуглецю (ЕС) та органічної матерії (ОМ) в частковій масі (РМ).

Поправочний коефіцієнт для бета-параметрів (Parameters Beta Correction Factor). У цій формі користувач може переглядати і редагувати поправочний коефіцієнт, який використовується для зміни бета-значень (Factors > Beta) для майбутніх технологій двигуна.

Часові ряди підсумкового обсягу викидів (Time series Results Total Emissions). Це та ж сама поворотна форма, що і форма Results > Total з тією різницею, що користувач може мати огляд всіх результатів для повних часових рядів, якщо такі є в файлі.

Результати приведених коефіцієнтів викидів (Results Implied Emission Factors). Ця форма зведеної таблиці (Форми [Forms](#)) містить коефіцієнти викидів, для всіх забруднюючих речовин та витрату енергії в г/км або МДж км. Користувач може вибрати рівень агрегації, вибравши відповідний заголовок у верхній області форми. Усі значення перераховуються автоматично. Зверніть увагу, що це приведені коефіцієнти викидів, що означає, що вони залежать не тільки від швидкості руху, але і від конфігурації парку та вхідних даних (наприклад, температури) для кожного пробігу. Дані не можна оновити.

Результуючі фактори викидів. Ця форма зведеної таблиці (Форми) містить коефіцієнти викидів, що мають на увазі, для всіх забруднюючих речовин та споживання енергії в г/км або МДж/км. Користувач може вибрати рівень агрегації, перемістивши відповідний заголовок у верхню область форми. Усі значення перераховуються автоматично. Зверніть увагу, що це коефіцієнти викидів, що мають на увазі, що означає, що вони залежать не тільки від швидкості руху, але і від конфігурації парку та вхідних даних (наприклад, температури) кожного пробігу. Дані не можна оновити.

Транспортні засоби, обладнані кондиціонером А / С (%) (Vehicles equipped with A / C (%)). У цій формі користувач надає кількість транспортних засобів, оснащених системою кондиціонування. Запропоновано деякі значення за замовчуванням, які є лише приблизними. Більш детальні дані можна отримати з національної статистики. Загалом кількість пасажирських автомобілів, оснащених кондиціонерами, збільшується для пізніх моделей.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 43

Також потрібно оцінити використання кондиціонування (використання) (%) як відсоткову частку від експлуатації транспортного засобу. Для простоти пропонується один єдиний коефіцієнт використання незалежно від міської, сільської місцевості та автодороги. Цей коефіцієнт використання рівномірно застосовується для всіх умов руху. Цей коефіцієнт використання повинен бути інтегрований протягом року, тобто немає сезонного розмежування.

Використання технологій (Vehicles Technology Share). У цій формі користувач визначає, які технології існують для кожного типу транспортного засобу (наприклад, GDI або GDI + GPF для бензинових або DPF, EGR і SCR для дизельних автомобілів). Після визначення користувач повинен вказати відсоток транспортних засобів, оснащених кожної технологією. Можна вибрати максимум 3 унікальні технології.

Поправки на викиди CO₂ (Vehicles CO₂ Correction) Для того, щоб запровадити параметр виправлення викидів CO₂, необхідно ввести значення частки реєстрації (%), середньої маси (кг), потужності двигуна (куб.см) та затвердження типу CO₂ (г / км) для кожної категорії легкових автомобілів та року реалізації. COPERT спочатку обчислює викиди зазвичай, базуючись на вхідних даних про циркуляцію. Якщо обраний варіант корекції CO₂, у процесі калібрування вводиться коефіцієнт корекції.

Використання меню Чарівник (Wizard). Результати розрахунків.

Для швидкого обрахунку викидів від транспортних засобів зручно користуватися меню, яке називається Чарівник . Вигляд меню у новій версії 5 COPERT (New Run Wizard) показано на Рис.3. 6.

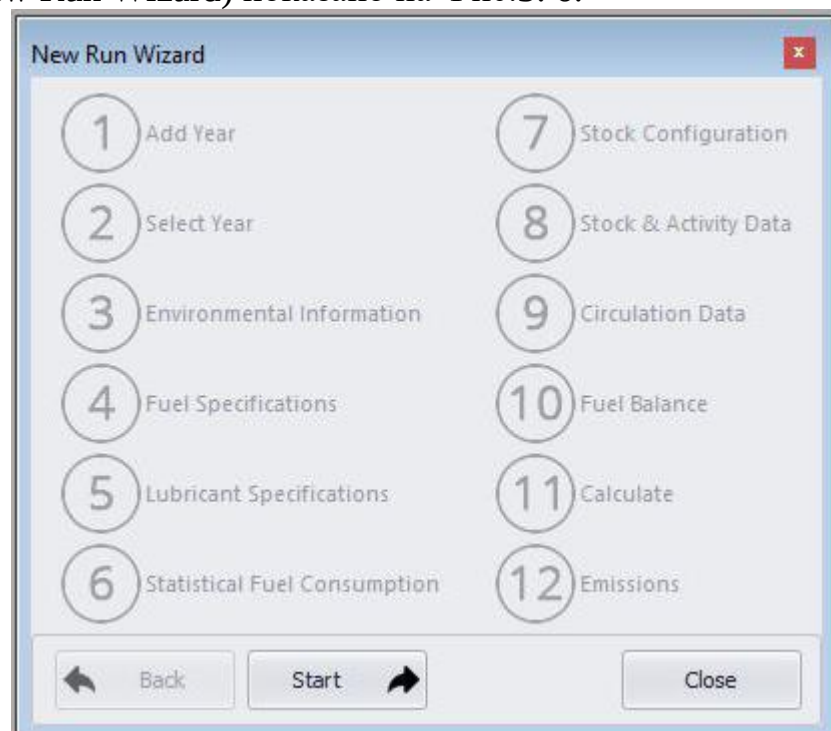


Рис.3. 6. Меню New Run Wizard

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 44

Для одержання викидів ТЗ у COPERT потрібно почати з конопки Start і послідовно пройти всі пункти меню від 1 до 12.

Вікно готового результату дослідження в Copert показано на рис. 3.7. .

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Pollutant	Urban Off Peak [g/km]	Urban Peak [g/km]	Rural [g/km]	Highway [g/km]
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	CO	0.16	0.16	0.25	0.53
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 5	CO	0.25	0.25	0.25	0.44
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6	CO	0.24	0.24	0.22	0.37
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6 RDE	CO	0.24	0.24	55	0.37
Passenger Cars	Petrol	Small	PRE ECE	CO	42.36	42.36	21.19	16.21
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/00-01	CO	54	32.27	14.57	18.66
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/02	CO	27.63	27.63	10.38	8.18
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/03	CO	29.39	29.39	10.52	7.93
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/04	CO	17.1	17.1	5.99	12
Passenger Cars	Petrol	Small	Improved Conventional	CO	9.69			
Passenger Cars	Petrol	Small	Open Loop	CO	11.47			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 1	CO	2.94			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 2	CO	1.04			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 3	CO	0.49			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 4	CO	0.16			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 5	CO	0.25	0.25	0.25	0.44

Рис. 3.7. Вікно готового результату розрахунку CO в Copert

Вікно готового результату, по якому можуть будуватися графіки показано на рис. 3.8.

Названия столбцов											
Filter Rows		Sum of Urban Off Peak [t]	Sum of Urban Peak [t]	Sum of Rural [t]	Sum of Highway [t]	Sum of Total [t]	Mtror Sum of Urban Off Peak [t]	Mtror Sum of Urban Peak [t]	Mtror Sum of Rural [t]	Mtror Sum of Highway [t]	Mtror Sum of Total [t]
Buses	Hot	0	1.80600513370588	0	0	1.80600513370588	0	1.80600513370588	0	0	1.80600513370588
Diesel	Hot	0	0.966455136216397	0	0	0.966455136216397	0	0.966455136216397	0	0	0.966455136216397
Coaches Standard <=18 t	Hot	0	0.966455136216397	0	0	0.966455136216397	0	0.966455136216397	0	0	0.966455136216397
Euro V	Hot	0	0.966455136216397	0	0	0.966455136216397	0	0.966455136216397	0	0	0.966455136216397
Biodiesel	Hot	0	0.839549997489483	0	0	0.839549997489483	0	0.839549997489483	0	0	0.839549997489483
Urban Biodiesel Buses	Hot	0	0.839549997489483	0	0	0.839549997489483	0	0.839549997489483	0	0	0.839549997489483
Euro V	Hot	0	0.839549997489483	0	0	0.839549997489483	0	0.839549997489483	0	0	0.839549997489483

Рис.3. 8. Вікно готового результату викидів забруднюючих речовин (CO) в атмосферу

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 45

Тема 4. Нові технології збереження ресурсів на автомобільному транспорті (на прикладі шведської компанії Volvo)

Оскільки ресурси планети обмежені, амбіція компанії Volvo полягає в тому, щоб подавати приклад всім транспортним компаніям щодо збереження ресурсів, “і ми прагнемо, щоб наша власна транспортна система була світового класу, використовуючи стале управління екологічними ресурсами”. Крім того, компанія вважає, що можна подвоїти продуктивність логістичних систем клієнтів за допомогою високопродуктивного управління екологічними ресурсами. Існують величезні стимули для переосмислення існуючих моделей виробництва і споживання. Відходи та забруднення повинні бути розроблені, а продукти та матеріали зберігаються на етапі використання. Підвищена увага компанії до відновлювального виробництва призведе до покращення управління екологічними ресурсами та ефективності матеріалів завдяки значним можливостям економії витрат як для Volvo Group, так і для клієнтів.

Ініціативи VOLVO з управління ресурсами. Стійка транспортна система. Компанія VOLVO відмічає, що вони працюють над тим щоб бути прикладом для інших компаній і вони працюють над тим, щоб їх транспортна система була світового класу за рівнем сталого розвитку та ресурсоефективності, а також підвищила продуктивність логістичних систем клієнтів. Компанія вважає, що Комерціалізація технологій за допомогою просунутих бізнес-моделей допоможе досягти цієї мети. Безпека руху є основою ефективної та стійкої транспортної системи. Погана безпека дорожнього руху може призвести до втрати як транспортної, так і ресурсоефективності, що вплине на добробут людини.

Переробка і повторне використання матеріалів. Природні ресурси світу обмежені, проте очікується, що до 2050 року економічна активність значно зросте. Це означає, що існують величезні стимули для переосмислення існуючих моделей виробництва і споживання з використанням екологічних ресурсів. Переробка і повторне використання матеріалів розглядається в більшості з того, що ми робимо у Volvo Group переробка є важливим способом управління ресурсами. В даний час компанія має сім майданчиків, які не відправляють зовсім відходів на сміттєзвалище (нуль відходів) і компанія постійно прагне мінімізувати залишки і збільшити частку матеріалу, який використовується для переробки і повторного використання.

На шляху до циркулярної економіки (див. також тему 1). Компанія VOLVO відмічає, що в неї є найбільша можливість впливати на життєві цикли пропозицій та моделі сталого розвитку на ранній стадії проектування. Це вимагає мислення в парадигмах циркулярної економіки та стійкості, де ретельно розглядаються матеріали, технології та бізнес-моделі на етапі проектування, тобто, починаючи з креслярської дошки. Круговий дизайн

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 46

розглядає цілий ряд тем протягом усього життєвого циклу, таких як зменшення матеріалів або ж відказ від певних матеріалів, технічне обслуговування та ремонт для продовження терміну експлуатації, відновлення або переробка матеріалів наприкінці терміну служби, а також упаковка. Це також може означати розробку нових бізнес-моделей, які дозволяють все вищесказане.

Відновлювальне виробництво (Remanufacturing). Відновлювальне виробництво використовує менше енергії, ніж виробництво нового компонента, при цьому задовольняючи високі вимоги до якості. Програма відновлення працює з двигунами, фільтрами, коробками передач та трансмісіями заднього моста, і мета полягає в розширенні цієї програми, щоб охопити більше ринків та більше компонентів. Сучасна тенденція – це прагнення працювати з матеріалами, які можна легко рекультивувати, відновити та переробити.

Мета компанії – збільшити рекупаторний бізнес на 60% до 2025 року у порівнянні з базовим 2018 роком.

Нуль відходів на сміттєзвалище (Zero waste to landfill). Наразі в компанії є сім ділянок, які відправляють нульові відходи на сміттєзвалище, і компанія поставила собі за мету перетворити 55 ділянок на нуль відходів на сміттєзвалище до 2025 року, у порівнянні з базовим 2018 роком. VOLVO GROUP постійно прагне мінімізувати залишки і збільшити частку матеріалу, який використовується для переробки та повторного використання. Підвищена увага приділяється пластмасам і також управлінню життєвим циклом акумулятора. Існують значні можливості для бізнесу у відновлювальному виробництві і, пов'язані з наданням продукту другого терміну служби та використанням вторинної сировини в нових продуктах. У промисловому виробництві завжди будуть залишки. Мати нуль відходів означає піклуватися про ці залишки як всередині країни, так і через надійних ділових партнерів.

На Рис. 4.1. показано вторинне використання батарей компанією Вольво.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 47



Рис. 4.1. Вторинне використання батарей компанією Вольво

Електричні та гібридні автобуси. *Електричні та гібридні вантажівки.* Згідно з угодою, підписаною у 2014 році, Volvo Buses постачатиме клієнтам електричні гібридні та повністю електричні автобуси, а партнери постачатимуть відкриті системи швидкої зарядки на основі стандартів. Volvo Group також працює у співпраці з партнерами над електричними дорожніми системами (ERS), де вони вивчають можливості для безперервної зарядки транспортних засобів під час руху.

У Швеції система One, має дві лінії електропередач, вбудовані в покриття дороги. Кожна секція стає живою в міру проходження транспортного засобу по ній, а електрика передається двигуну через струмознімач в кінці транспортного засобу. Наразі рішення тестується на великовантажній вантажівці, і результати є обнадійливими. Volvo Group також бере участь у передкомерційній закупівельній ініціативі зі Шведською транспортною адміністрацією. Мета –

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 48

оцінити можливості реалізації динамічної зарядки як рішення для міських автобусів.

Автобуси Volvo мають рішення для електромобілів для задоволення всіх потреб громадського транспорту. На Рис. 4.2. показана стратегія компанії Вольво щодо автобусів у майбутньому.

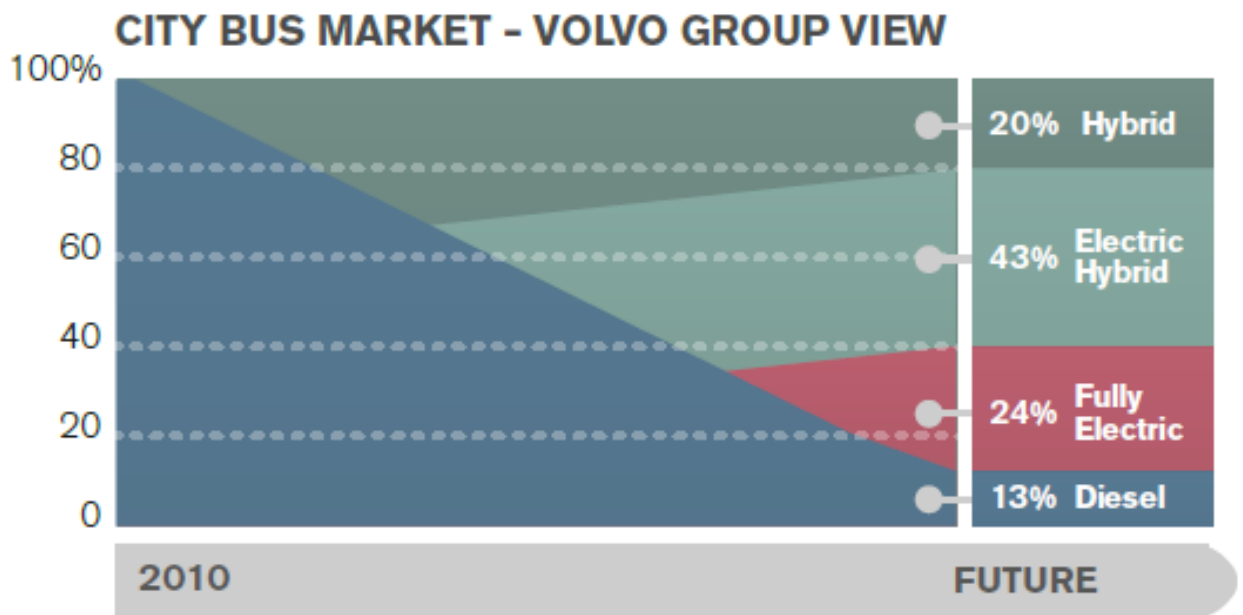


Рис. 4.2. Стратегія компанії Вольво щодо автобусів у майбутньому

Гібридні електроавтобуси VOLVO 7900. Автобус оснащений електродвигуном, який живиться від літєвих батарей. Він також має невеликий дизельний двигун.

- Автобус швидко заряджається на зарядних станціях через накладні витрати підключення до потужності.
- Підзарядка займає приблизно 6 хвилин на кінцевих станціях.
- Автобус може проїхати близько семи кілометрів тільки по електроенергії, долаючи відстань безшумно і цілком без викидів вихлопних газів.
- Увімкнення критичних автобусних зупинок
- 75% економії палива
- Зниження енергії на 60%
- Зниження CO2 на 75%
- Пасажиромісткість: 95
- Електродвигун: Volvo I-SAM
- Коробка передач: Volvo I-Shift
- Літій-іонний акумулятор

Альтернативне та поновлюване (відновлювальне) паливо (Alternative and renewable fuels). Компанія займає чітку позицію щодо альтернативних та відновлюваних видів палива.

У Швеції Volvo також успішно провела випробування на вантажівках Volvo євро-5 з використанням гідрооброблених рослинних олій (HVO), які, на думку Volvo Group, є кращою альтернативою біодизелю, оскільки існує більша сировинна база для їх виробництва. На Рис. 4.3. показано використання відновлювальних палив компанією Вольво.

Renewable fuels: assessment of important criteria

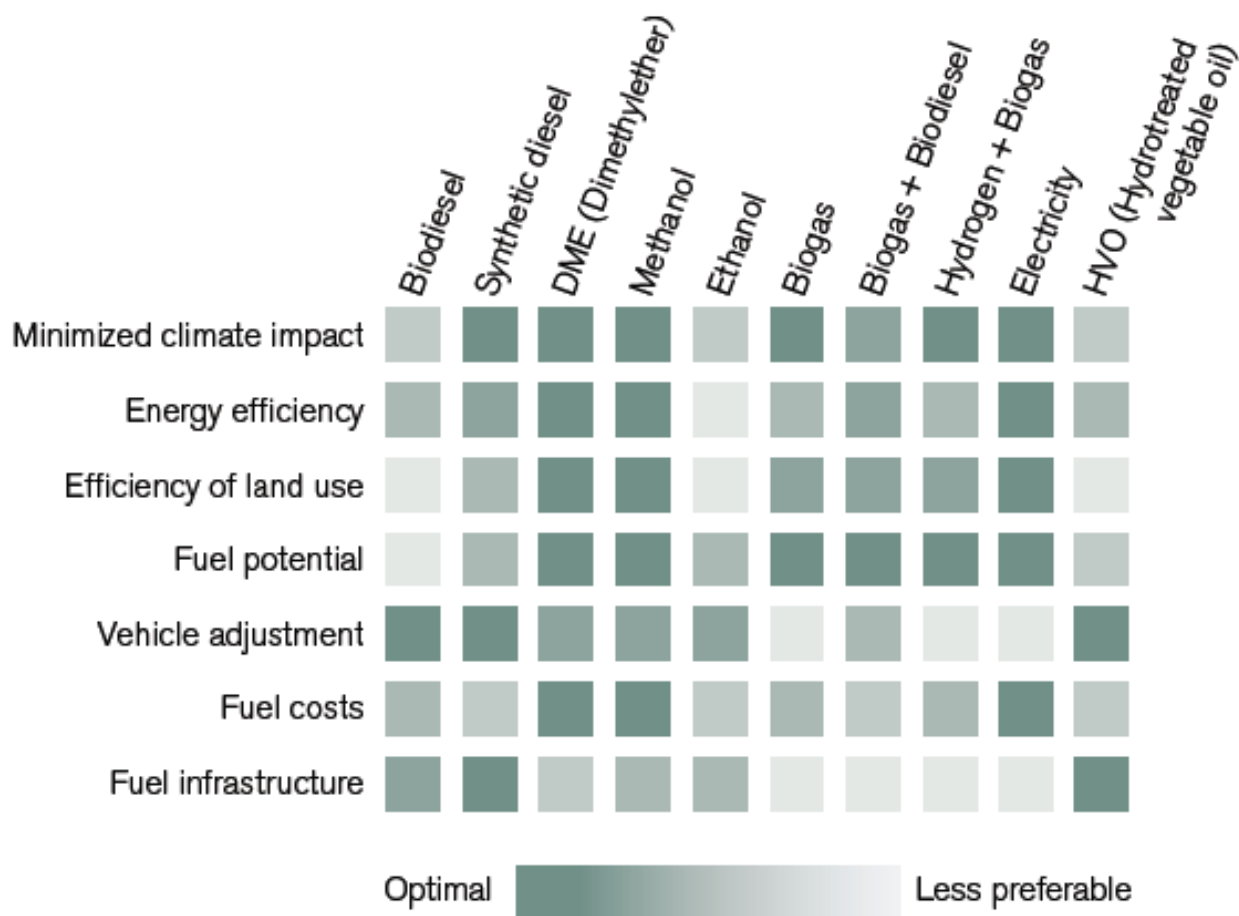


Рис. 4.3. Використання відновлювальних палив

Стратегічні цілі Volvo Group

- **Застосування на великій відстані:** рідкий метан і диметилетилетер (DME) є нашими основними пріоритетними альтернативами. Динамічна електрозарядка - додаткова довгострокова альтернатива
- **Застосування на середній відстані:** стиснений метан та DME є нашими основними пріоритетними альтернативами. Динамічна електрозарядка - додаткова довгострокова альтернатива
- **Міське застосування:** електрика та стиснений метан є пріоритетними.

Виведення на ринок нової вантажівки з газовим двигуном. У 2014 році

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 50

Volvo Group випустила нову вантажівку з газовим двигуном для європейського ринку: Volvo FE CNG (стиснений природний газ). Нова модель повністю працює на газі метану і оснащена новим 9-літровим двигуном з газовим двигуном з технологією свічки запалювання та автоматичною коробкою передач, що відповідає стандарту Євро 6. Під час роботи на біогазі ця вантажівка зменшує викиди CO₂ до 70%.

Підвищення безпеки громадського транспорту. AstaZero, перший у світі повномасштабний тестовий трек для дослідження безпеки автомобілів, був запущений у 2014 році. Розташована в Борасі, Швеція, випробувальна зона площею 2 000 000 квадратних метрів імітує дороги в місті та сільські дороги, а також багатосмугову та швидкісну автомагістраль. Сайт належить Технічному науково-дослідному інституту SP Швеції та Технологічному університету Чалмерса. Полігон AstaZero був побудований і розроблений в тісній співпраці з Volvo Group з метою тестування інновацій в активній безпеці в повномасштабних випробувальних середовищах. Зони тестування включають майже шість кілометрів сільської дороги з перехрестями, вуличними ліхтарями та автобусними зупинками, а також міське середовище, де транспортні засоби можуть бути протестовані за автентичними сценаріями за участю інших транспортних засобів у інтенсивному русі, велосипедистів та пішоходів. Інфраструктура також дозволяє пов'язаним транспортним засобам спілкуватися як один з одним, так і з оточенням.

Перехід на інтелектуальні технології. Телематика - це область технологій, заснована на бездротовому підключенні транспортних засобів. Телематика та підключені послуги змінюють спосіб вдосконалення Volvo Group та надання послуг нові та стійкі рішення, які підтримують клієнтів та максимізують ефективність.

В даний час по всьому світу налічується близько 300 000 автомобілів Volvo Group з підключеними послугами. Послуги Volvo Group включають віддалену діагностику, управління паливом та коучинг водіїв.

Поєднання телематики з обслуговуванням клієнтів у режимі реального часу Guarddog Connect. У США Компанія Mack Trucks випустила нову і вдосконалену версію свого існуючого бортового інструменту дистанційної діагностики в 2014 році. Новітня технологія Guarddog Connect поєднується з телематичною мережею, мережею обслуговування клієнтів і обслуговування в режимі реального часу, щоб:

1. Визначте коди несправностей, діагностичні потреби, етапи технічного обслуговування та рішення
2. Особи, які приймають рішення, що приймають рішення, центр обслуговування клієнтів OneCall та постачальники послуг
3. Графік ремонтних робіт, наявність деталей і оперативний ремонт

I-See (Транспортний засіб має пам'ять). I-See – це технологічна платформа в нових вантажівках Volvo FH, яка має на меті забезпечити

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 51

економію палива до 5% за рахунок «пам'яті» транспортного засобу, який «пам'ятає» топографію дороги. Перший раз, коли вантажівка під'їжджає на пагорб, інформація зберігається в бортовій пам'яті вантажівки. Наступного разу, коли маршрут буде пройдений, ця інформація використовується для максимальної паливної ефективності. Кваліфіковані водії можуть досягти тих же результатів, що і I-See, але ця система дозволяє їм робити це неодноразово, що особливо вигідно для їзди на далекі відстані.

I-See Extended є новітньою розробкою цієї технології і має дві додаткові переваги:

1. Круїз-контроль тепер функціонує в невеликому діапазоні, замість фіксованої швидкості. Це дозволяє транспортному засобу автоматично розганятися, коли він знає, що він наближається до пагорба, а також коли потрібно полегшити і використовувати кут нахилу дороги для економії палива

2. Нова телематика – I-See Extended – дозволяє ділитися записаною дорожньою інформацією з іншими вантажівками.

Після того, як одна вантажівка проїхала дорогою, всі вантажівки I-See Extended отримують користь від отриманих знань, без необхідності їздити на них спочатку самостійно

Впровадження технології Zone management (електромобіль чи дизель?)

У 2014 році Volvo Group представила інноваційну нову технологію управління зоною (**zone management**), яка спрощує безпечне водіння по місту без викидів. Все більше міст вводять обмеження на транспортні засоби, дозволені для експлуатації в різних міських районах. Деякі зони повністю не містять викидів, а інші накладають спеціальні правила щодо шуму або швидкості. Volvo Bus Zone Management – це послуга, яка дозволяє дотримуватися обмежень у різних видах чутливих зон. Технологія автоматично регулює, як автобус працює в конкретних зонах уздовж маршруту. GPS використовується для визначення того, де саме по маршруту автобус повинен курсувати на електриці або дизелі, а також з якою швидкістю він може їздити в різних зонах. Технологія сприяє більш чистому, безпечному та тихому міському середовищу.

Використання бездротових технологій для підключення транспортних засобів . “Platooning” - це термін США для автопоїздів, який Volvo Group успішно випробувала протягом ряду років в проектах в ЄС, США і Японії. “Platooning” використовує бездротову технологію для з'єднання ведучої (lead) вантажівки, керованої навченим водієм, і управління конвоем (convoy) транспортних засобів в дорожньому агрегаті (roadtrain). Випробування показують, що їзда в конвої з близьким формуванням може зменшити аварійність, поліпшити транспортний потік, знизити споживання палива і викиди вуглецю, пропонуючи при цьому більший комфорт водіям.

Однак є виклики щодо законодавства, стандартів відповідальності та зв'язку, які повинні бути вирішені, перш ніж “platooning” може бути прийнятий

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 52

як стійке транспортне рішення. Volvo Group протягом 2014 року брала активну участь у діалозі зі стейкхолдерами США, ЄС та Швеції з питань, пов'язаних з platooning.

Ще одна паля. (One more pile (VETT)). Ще одна паля (VETT) має на меті розробити модульну систему лісового транспорту. У порівнянні зі стандартними 60-тонними комбінаціями, 90-тонні комбінації великої потужності поки що досягли зниження витрати палива на 22% і викидів CO₂, в той час як 74-тонні комбінації знизили CO₂ на 10-15% за тону/км.

Всі аспекти були ретельно досліджені та вирішені, а також підвищена загальна безпека. Отримано схвалення для певних дорожніх мереж у Фінляндії та Швеції. Швеція розглядає можливість затвердження 74-тонних на обмеженій дорожній мережі та 64-тонної на великій дорожній мережі.

Проект DUO2. Проект DUO2 тестує вантажівку, яка довша і важча ніж ті, що доступні сьогодні в Європі. Для проекту DUO2 компанія має спеціальний дозвіл на випробування вантажного автомобіля довжиною 32 метри і вагою до 80 тонн, подорожуючи між Гетеборгом і Мальме в Швеції—подорож приблизно на 300 км. Таке використання транспортного засобу показує зниження витрати палива на 27% в порівнянні зі стандартним і також показує, що обсяг і розподіл навантаження можуть зіграти більш істотну роль, ніж обмеження ваги.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 53

Тема 5. Збереження ресурсів шляхом використання електромобілів.

Електромобілі дуже популярні зараз у всьому світі. Але потрібно враховувати той факт, що електромобіль – є екологічним видом транспорту тільки у тому випадку, коли спосіб одержання електроенергії є екологічним. Якщо електроенергія одержується, наприклад, спалюванням вугілля, то це має значний вплив на викиди CO₂ внаслідок джерела одержання електроенергії. Приведемо 10 електромобілів, які є найбільш популярними у Великобританії.

1. *Tesla Model-3*. Tesla Model-3 є найдоступнішим і самим популярним електромобілем Tesla на ринку з моменту його запуску в 2020 році. Цей автомобіль має плавний привід зі швидким стартом, версія Performance може досягти 60 миль / год всього за 3.1 секунди.

2. *Nissan Leaf*. Практичний, зручний електромобіль. Вперше випущений у 2010 році, невеликий, але надійний електромобіль. Nissan Leaf британського виробництва вперше був випущений в 2010 році і одержав серйозне оновлення в 2017 році. Можна повністю зарядити Leaf протягом ночі приблизно за 7.5 годин за допомогою домашнього зарядного пристрою ємністю 7 кВт·год. Або, якщо є доступ до швидкого зарядного пристрою потужністю 50 кВт, то можна отримати до 80% акумулятора всього за 60 хвилин. Nissan Leaf потужністю 40 кВт·год має діапазон, за оцінками ЕРА, становить 149 миль, тоді як версія 62 кВт·год має запас ходу до 226 миль.

3. *Tesla Model-S*. Як і раніше популярний варіант з моменту запуску в 2012 році. В даний час є дві моделі на вибір, Model S Dual Motor або Model S Plaid, яка може похвалитися можливостями до 396 миль з 1.99 секундним часом 0-60 миль на годину та максимальною швидкістю 200 миль / год.

4. *Tesla Model Y*. Завдяки надійному діапазону, можливості швидкої зарядки, великій кількості місця та зручній бортовій технології Tesla Model Y є досить популярним електричним сімейним позашляховиком.

5. *Kia e-Niro*. Один з найдоступніших електромобілів далекого радіусу дії на ринку, з запасом ходу 282 милі. Він простий у керуванні, стильний, але просторий, практичний і має розширені функції безпеки.

6. *Renault Zoe*. Renault Zoe, з запасом ходу 245 миль, є ще одним електромобілем, який має пристойний запас ходу, привабливий дизайн і відносну доступність. Його офіційний запас ходу становить 245 миль, що для хетчбека такого розміру вражає. Більшість власників заряджатимуть електромобіль за допомогою домашнього зарядного пристрою ємністю 7 кВт·год, який постачається з автомобілем, тобто він має час зарядки від порожнього до повного за 9 годин і 25 хвилин. Якщо ви використовуєте швидший зарядний пристрій, коли перебуваєте на вулиці, тоді Zoe буде заряджатися максимум на 22 кВт·год, повний час зарядки - 2 години 54 хвилини.

7. *Nissan Leaf Acenta*. Acenta має тканинний інтер'єр для додаткового комфорту та дальність їзди 245 миль. Це надійний і відносно доступний

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 54

електромобіль, що може стати ідеальним сімейним автомобілем. Можна заряджати електромобіль вдома від порожнього до повного приблизно за шість з половиною годин за допомогою зарядного пристрою ємністю 7 кВт-год. Якщо ви використовуєте швидший зарядний пристрій, він може перейти від 20% до 80% за годину.

8. *Jaguar I-Pace*. Повністю електричний позашляховик від Jaguar, це виявилось гідним суперником Tesla, коли він був вперше запущений в 2018 році. Це практичний автомобіль з запасом ходу 292 милі. Щоб повністю зарядити I-Pace, знадобиться 12 годин, якщо ви використовуєте зарядний пристрій ємністю 7 кВт-год, але швидший зарядний пристрій ємністю 100 кВт-год займе 40 хвилин, щоб забезпечити діапазон 240.

9. *Porsche Taycan*. Повна зарядка з дому займає близько дев'яти годин із зарядним пристроєм ємністю 7 кВт-год, але може перейти від 0% до 80% трохи більше ніж за годину із зарядним пристроєм ємністю 50 кВт-год. Запас ходу становить 268 миль при повній зарядці.

10. *Nissan Leaf Tekna*. Nissan Leaf зі шкіряним дизайном інтер'єру Tekna. Він має запас ходу 268 миль при повній зарядці, він також має музичну систему Bose з семи динаміків і суміш шкіри та замші зсередини.

5.1. Переваги і недоліки електромобілів

Як видно з огляду, що наведений вище, один із недоліків використання електромобіля, це необхідність значного часу для зарядки, а також обмеження по відстані, який він може приїхати. В роботі [1] показані наступні переваги і недоліки електромобілів.

Переваги електромобілів

1. Екологічна безпека
2. Простота конструкції та управління
3. Можливість підзаряджання від від побутової електричної мережі
4. Дешевизна електричної енергії
5. Тягові електродвигуни мають к.к.д. до 92%-95%
6. Менший рівень шуму
7. Висока плавність ходу
8. Можливість підзаряджання джерел енергії у разі рекуперативного гальмування
9. Можливість гальмування самим електродвигуном

Недоліки електромобілів

1. Незначні виділення електрохімічних акумуляторів
2. Наслідки ушкодження акумуляторів в разі аварій, що виникають на дорогах.
3. Забруднення від підприємств.
4. Додаткове електромагнітне поле

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 55

5.2. Методика розрахунку економічності електромобілів.

Для проведення розрахунку паливної економічності обираємо електромобілі Kia Soul EV, Volkswagen e-Golf, Mercedes Clase B Electric, тому що вони більш всього розповсюджені у країнах Європи, Америці, Азії та інших частинах світу.

Для визначення паливної економічності електромобілів у США вимірюється витрата електроенергії, який витрачається на заряд тягової акумуляторної батареї від стандартної електричної мережі (в США це 120 В, 60 Гц) та еквівалентно перераховується за вартістю у витрату палива. Середня вартість електричної енергії у США коштує близько \$ 0,12-0,13 за 1 кВт·год [2], а літр бензину – \$ 0,66 [3].

Проведемо перерахунок паливної економічності електромобілів при експлуатації їх на території України. Вартість 1 кВт·год електроенергії, що відпускається населенню та населеним пунктам (з урахуванням ПДВ) складає в залежності від категорії споживачів від 71,4 коп. до 163,8 коп.[4]. Для розрахунку приймемо тариф на електроенергію для населення СкВт = 1,29 грн /кВт·год. за обсяг спожитий від 100 кВт·час до 600 кВт·час електроенергії на місяць, тому що заряд тягової акумуляторної батареї електромобіля потребує значних витрат електричної енергії. Середня вартість бензину А95 на заправках України 21.10.2016 досягла 22,69 грн.[5] за літр.

Для визначення паливної економічності електромобілів у Італії. Середня вартість електричної енергії близько \$ 0,07-0,10 за 1 кВт·год.,[2], а літер бензину – \$ 0,94.[3].

Для визначення паливної економічності електромобілів у Швейцарії.

Середня вартість електричної енергії близько \$ 0,05 за 1 кВт·год.[2], а літер бензину – \$ 0,38[3].

Для визначення паливної економічності електромобілів у Норвегії. Середня вартість електричної енергії близько \$ 0,08-0,12 за 1 кВт·год.[2], а літр бензину – \$ 0,74[3].

З урахуванням ККД зарядного пристрою, отримуємо вартість 1 кВт*год. енергії

$C_{\text{ЕЛТАБ}}$ що запасється в тяговій акумуляторній батареї електромобіля від стандартної електричної мережі 220 В, 50 Гц, грн./кВт·год.

$$C_{\text{ЕЛТАБ}} = \frac{C_{\text{кВт}}}{\eta} * 100\% \quad (1)$$

де $C_{\text{кВт}}$ – тариф на електроенергію за 1 кВт·год.;

η – ККД зарядного пристрою, %.

Вартість електроенергії $C_{\text{Електро}}$, що витрачає електромобіль на подолання 1 км шляху, можна розрахувати за формулою, грн./км

$$C_{\text{Електро}} = W_{\text{Ел}} * C_{\text{ЕЛТАБ}} \quad (2)$$

де $W_{\text{Ел}}$ – витрата електроенергії акумуляторної батареї електромобіля для

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 56

подолання 1 км шляху, кВт·год./км.

Формула (2) з урахуванням формули (1) отримує вигляд, грн./км

$$C_{\text{Електро}} = W_{\text{Ел}} * \frac{C_{\text{кВт}}}{\eta} * 100\% \quad (3)$$

Як правило, за одиницю виміру економічності засобів транспорту береться відстань 100 км, на яку, в даному випадку, електромобіль може витратити декілька

кВт·год. електричної енергії, які можна перерахувати у відповідну вартість бензину. Для розрахунку вартості електроенергії, що витрачає електромобіль на відстань 100 км, формула (3) приймає вигляд, грн./100 км

$$C_{\text{Електро}} = W_{\text{Ел}} * \frac{C_{\text{кВт}}}{\eta} * 100\% * 100 \quad (4)$$

Для перерахунку вартості електроенергії у відповідну витрату палива необхідно отриману за формулою (4) вартість (грн./100 км), що витрачена на рух автомобіля, перевести у відповідну витрату палива згідно вартості бензину або дизеля у країні, в якій експлуатується гібридний автомобіль, л/100 км.

$$C_{\text{Електро}} = \frac{W_{\text{Ел}} * \frac{C_{\text{кВт}}}{\eta} * 100\% * 100}{C_{\text{палива}}} \quad (5)$$

де $C_{\text{палива}}$ – вартість палива в країні, в якій експлуатується електромобіль, грн./л. За формулою (5) проведемо розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілів Fiat 500e, Chevrolet Volt, Kia Ray EV для міського та заміського режимів руху при їх експлуатації на території України. У табл. 5.1 наведені результати розрахунку, за методикою [6].

Таблиця 5.1

Параметри	Розм.	Kia Soul EV		Volkswagen e-Golf		Mercedes Classe B Electric	
		Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц
Витрата електрон. для подолання 100км шляху	кВт·год./км	30	37	21	25	23	27
Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху	грн. / 100 км	35,65	48,07	30,08	39,87	35,05	53,3
Еквівалентна витрата палива	л / 100 км.	1,56	1,985	1,36	2,98	2,21	2,35

Проведення розрахунків.

Для розрахунків ККД зарядного пристрою приймаємо 92%.

Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху

$$C_{\text{Електро}} = W_{\text{Ел}} * \frac{C_{\text{кВт}}}{\eta} * 100\% * 100 = 0,24 * \frac{1,29}{92} * 100\% * 100 = 33,65 \text{ грн./100км}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 57

Еквівалентна витрата палива:

$$C_{\text{Електро}} = \frac{W_{\text{Ел}} * \frac{C_{\text{кВт}}}{\eta} * 100\% * 100}{C_{\text{палива}}} = \frac{33,65}{22,69} = 1,48 \text{ л/100км}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для решти автомобілів в міському і заміському режимах. За цим самим принципом проводимо розрахунки для США, Китаю та Данії і результати заносимо до таблиці 5.2, таблиці 5.3, таблиці 5.4 відповідно. (Всі обчислення проведено в Excel). Курс \$ приймаємо 26 грн. за 1\$.

Таблиця 5.2

Параметри	Розм.	Kia Soul EV		Volkswagen e-Golf		Mercedes Clase B Electric	
		Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц
Витрата електрон. для подолання 100км шляху	кВт·год./км	24	30	22	32	25	38
Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху	грн. / 100 км	84,78	105,98	77,71	113,04	88,32	134,24
Еквівалентна витрата палива	л / 100 км.	4,9	6,2	4,53	6,58	5,12	7,82

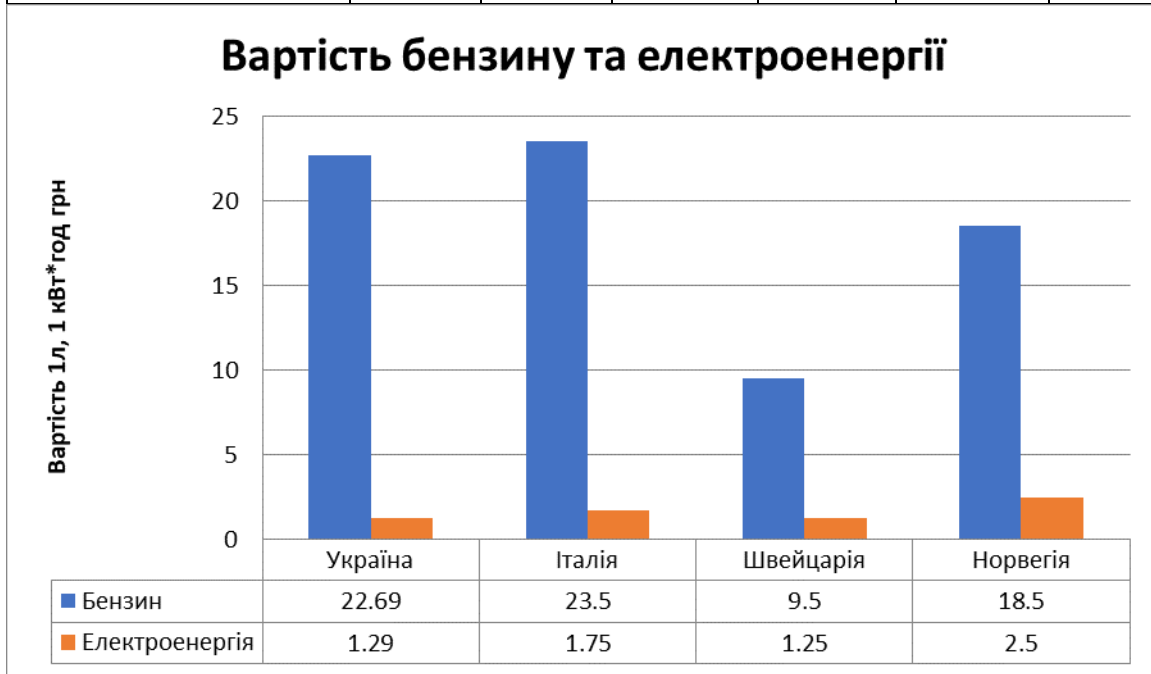
Таблиця 5.3

Параметри	Розм.	Kia Soul EV		Volkswagen e-Golf		Mercedes Clase B Electric	
		Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц
Витрата електрон. для подолання 100км шляху	кВт·год./км	24	30	22	32	25	38
Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху	грн. / 100 км	542,61	678,26	497,39	723,48	565,22	859,13
Еквівалентна витрата палива	л / 100 км.	22,2	27,75	20,35	29,6	23,17	35,15

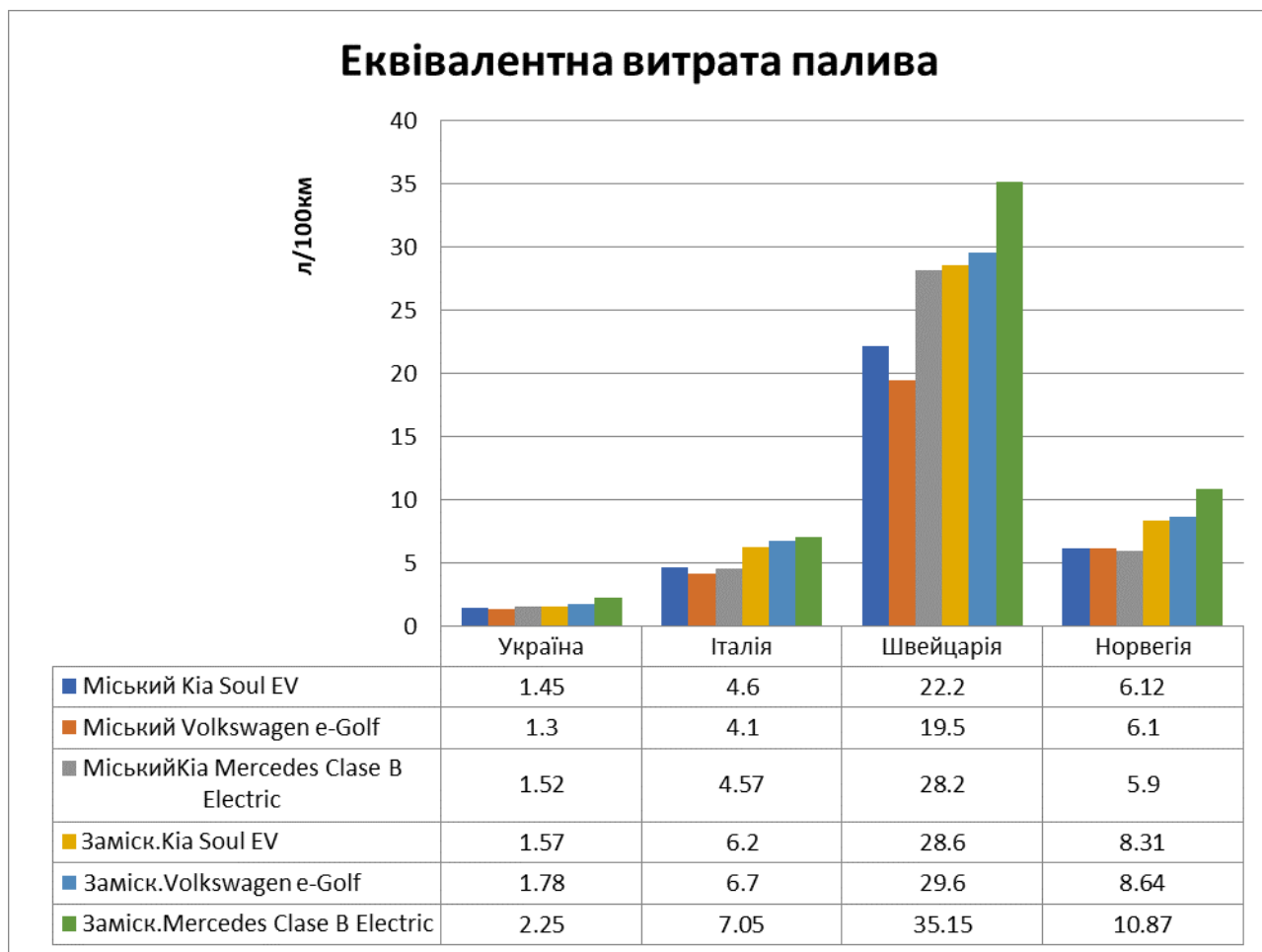
Таблиця 5.4

Параметри	Розм.	Kia Soul EV		Volkswagen e-Golf		Mercedes Clase B Electric	
		Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц	Міс.ц	Заміс.ц
Витрата електрон. для подолання 100км шляху	кВт·год./км	24	30	22	32	25	38

Вартість електроенергії для подолання 100 км шляху	грн. / 100 км	271,3	339,13	248,69	361,74	282,61	429,56
Еквівалентна витрата палива	л / 100 км.	6,48	8,1	5,94	8,64	6,75	10,26



В результаті проведених досліджень та розрахунків отримали еквівалентну витрату палива електромобілів Fiat 500e, Chevrolet Volt, Kia Ray EV, для міського та заміського режимів на території зазначених країн.



В цьому підрозділі проведений порівняльний розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілями у різних країнах світу за методикою [6].

Отже, за даною методикою можна провести розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілів різних країн світу. Результати досліджень паливної економічності електромобілів свідчать, що еквівалентна витрата палива електромобілів на території України нижча, ніж витрата палива автомобілів аналогічного класу з ДВЗ; еквівалентна витрата палива електромобілів на території України менша ніж еквівалентна витрата палива електромобілів на території інших країн.

5.3. Українські електромобілі

Один з оригінальних електромобілів «Таврія – електро» було створено на Запорізькому автомобільному заводі в 1991-1994 рр. Електромобіль одержав офіційну класифікацію як ЗАЗ 1109. Розробляють автомобілі також у Кривому Розі. Тут розроблений двомісний електромобіль «Джміль».

Український електромобіль COOLON [7]. Уже декілька років український стартап Murturation Technology (з Кривого Рогу, Дніпропетровська область) працює над досить амбітним проектом – електричною вантажівкою під назвою

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 60

Coolon. У 2020 році фірма представила прототип своєї розробки, і в 2021 р. заявила, що вже 2022 року запустить машину у виробництво. Планова вартість автомобіля Coolon становитиме від 16 000 доларів США. На Рис.5.1 показаний загальний вигляд українського електромобілю Coolon.



Рис.5.1. Загальний вигляд українського електромобілю Coolon

Електромобіль Coolon – що він являє собою? По суті, Кулон – це шасі, на якому змонтовано прямокутну кабіну і, власне, електричний привід. Можна буде замовити як саму платформу, так і вже готову вантажівку з жорстким кузовом. Довжина вантажівки становить 5 метрів, ширина – 1,7 метра, висота – 2,1 метра. Розмір вантажного майданчика – 1,7 x 3,1 м, об'єм вантажного простору – 9-12 м³. Вантажопідйомність – від 1,5 до 2,5 тон. Машина приводиться у рух мотором CoolDrive потужністю від 68 к.с. до 163 к.с.. За доплату можна буде взяти і з двома двигунами, віддача другого агрегату становитиме від 40 до 109 к.с. У першому випадку Кулон є передньопривідним, у другому – повнопривідним. Батарея – літій-залізофосфатна CoolBat, її ємність також варіюється - від 40 до 60 кВт*год.

Електромобіль зможе прискорюватись до 90 км/год (з топовим двигуном) та проїжджати на одному заряді від 200 до 300 км. Принаймні, так запевняють розробники. Бортова електроніка у машини також своя – CoolBlock. У Murmuration Technology обіцяють, що за перший рік випустять 2000 вантажівок, а вже у 2024-2025 роках рівень виробництва становитиме 20 000 машин щорічно.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 61

Окрім України, Coolon збираються продавати у Європі.

5.3. Зарядні станції для електромобілів [8]

Зарядні станції для електромобілів Wallbox. Wallbox - глобальна компанія, яка прагне змінити спосіб використання енергії в світі. Wallbox створює інтелектуальні системи зарядки, які поєднують в собі передові технології з видатним дизайном, керуючи підключенням між автомобілем і зарядним пристроєм за допомогою простих у використанні додатків. Wallbox з номіналом 7,4 кВт прискорить зарядку як мінімум в три рази, в порівнянні зі штатною автомобільною зарядкою в 2,3-3,6 кВт. Зарядки від Wallbox на 22 кВт зарядить в 10 разів швидше.

POWER BOOST. Power Boost динамічно врівноважує доступну енергію між зарядним пристроєм і іншими пристроями в будинку. Це допомагає уникнути перевищення доступною потужності інфраструктури і запобігти відключенню електроенергії. За допомогою Power Boost ніколи не перевищується ліміт електропостачання. І завжди можна заряджатися з максимальною доступною потужністю.

POWER SHARING (DLM) З Power Sharing можна уникнути дорогих оновлень електричної інфраструктури. Ця функція інтелектуальної зарядки найбільш ефективно розподіляє задану кількість енергії між усіма підключеними зарядними пристроями на паркінгах.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 62

Тема 6. Автомобілі на паливних елементах як перспектива для України у збереженні ресурсів.

Автомобіль на паливних елементах (FCVs), видається, є найбільш логічним кроком у розробці транспортних засобів, які можуть значно допомогти зменшити кількість викопного палива у світі, що споживається для живлення транспортного засобу, який використовується сьогодні. Однією з найбільших переваг паливних комірок є те, що паливні елементи працюють суто на водні.

Паливний елемент (паливна комірка) - це пристрій, який перетворює хімічну енергію з палива в електрику за допомогою хімічної реакції позитивно заряджених іонів водню з киснем або іншим окислювачем.

Тобто паливна комірка виробляє електричний струм безпосередньо з хімічної реакції. Паливні комірки можуть працювати не тільки на водні, але й на інших видах палива: метанолі, біодизельне паливо та. ін.

6.1. Принцип роботи паливних елементів для автомобільних додатків (адаптовано з [1])

При використанні водневих паливних елементів, двигун працює, використовуючи водень (замість дизельного палива чи бензина) і викидами є проста вода.

Сукупність паливних елементів, що з'єднані в одному пакеті, називається **стеком паливних елементів**. Стек паливних елементів перетворює водневий газ, що зберігається в резервуарі високої міцності, з киснем для створення електрики

Як працюють паливні елементи (комірки). Паливний елемент є каталізатором хімічної реакції, що відбувається, поєднуючи водень і кисень для отримання електроенергії. Вони називаються полімерними електролітними мембранами (ПЕМ) або протоннообмінними мембранними паливними елементами. Електроліт -це є речовина, яка проводить заряджені частинки (електроліт: субстанція, що проводить заряджені частинки).

Паливні елементи в **FCVs** здатні виробляти близько 1, 16 В електроенергії; цього, очевидно, недостатньо для живлення транспортного засобу, який вимагає близько 400 В для електродвигуна. Щоб забезпечити електричну потужність для мотора, пакуються сотні паливних комірок, вони утворюють стек паливних елементів. Потенційна потужність, що виробляється цим пристроєм залежить від розміру і кількості індивідуальних комірок разом з площею поверхні частини стека паливних елементів під назвою РЕМ.

Паливні елементи, що використовуються в FCV, надзвичайно ефективні, особливо якщо порівнювати зі звичайними двигунами внутрішнього згорання.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 63

Водень, який використовується в FCV, отримують з різних джерел.

Коли використовується чистий водень, паливний елемент буде виділяти воду і тепло самостійно; це забезпечує один з найчистіших видів транспорту, який допоможе альтернативувати цілком реальним концепціям зміни клімату через викиди парникових газів, таких як CO₂.

ПЕМ. Основним видом паливних елементів, що використовуються в FCV, є паливний елемент ПЕМ. Конструкція паливного елемента типу ПЕМ складається з електролітної мембрани, що розташована між анодом, який є негативним електродом, і катодом, який є позитивний електрод. ПЕМ - це органічна сполука, що має схожу консистенцію зі звичайною харчовою плівкою. Основною функцією ПЕМ є функція електроліта, який притягує позитивні протони, а не електрони. Це дає можливість паливному елементу проводити електрику. ПЕМ потрібно підтримувати у вологому стані, щоб дозволити протонам проводити через його поверхню.

Oxidation (Окислення). Усередині паливного елемента анод являє собою негативний електрод, де відбувається окислення. Окислення - це коли електрони втрачаються з паливного елемента. Анод складається з платини і підтримується частинками вуглецю. Швидкість окислення збільшується за рахунок використання платини –каталізатора. Водневе паливо здатне проходити через анод, так як воно характерно пористе. Іншими словами, окислення це процес всередині паливного елемента, коли електрони втрачаються через реакцію між водневим паливом і анодом.

Відновлення (Reduction). В катоді (позитивному електроді) відбувається обернений процес, і електрони проходять через процес, що називається reduction. Подібно аноду, катод вироблений також з платини, і підтримується частинками вуглецю. Аналогічно платина є каталізатором, що підтримує процес reduction (відновлення). Так як і для водню в аноді, кисень проходить через пористий катод. Віновлення: процес всередині паливного елемента, де електрони отримуються через реакцію між катодом і водневим паливом.

Проточні пластини (розташовані навколо зовнішньої сторони ПЕМ, анода і катода) виконують кілька істотних функцій:

- Забезпечують проходження водню і кисню до електродів.
- Пересувають тепло і воду з паливних комірок.
- Забезпечують середовище (a means) для електродів, щоб бути проведеними з аноду в електричне коло, і потім з електричного кола знову до аноду.

В аноді водневе паливо (H) розділяється з використанням каталіста:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 64

негативно заряджені електрони розділяються від позитивно заряджених протонів. РЕМ дозволяє проходити позитивно зарядженим протонам через катод, але не пропускає негативно заряджені електрони. Електричний струм формується, коли ці негативно заряджені електрони течуть через РЕМ через зовнішній контур. (by the way on external circuit).

На стадії катонізації електрони, які є негативно заряджені, комбінуються з протонами, які є позитивно заряджені, і кисень утворює воду (H₂O) і тепло. Це є загальні викиди з FCVs.

6.2. Переваги і недоліки автомобілів на паливних комірках [1]

Переваги автомобілів на паливних комірках

Переваги	
Менше викидів парникових газів	Бензинові та дизельні транспортні засоби виділяють парникові гази, переважно вуглекислий газ (CO ₂), що сприяє глобальній зміні клімату. FCV, що працюють від чистого водню, не виділяють жодного викиду зі своєї вихлопної труби, лише тепло та воду. Виробництво водню для живлення FCV може генерувати викиди, залежно від способу виробництва, але набагато менше, ніж викиди звичайних бензинових та дизельних транспортних засобів.
Менше забруднення повітря	Транспортні засоби на традиційних паливах викидають значну частку забруднювачів повітря, які сприяють викидам і шкідливим твердим частинам у світі. FCV, що працюють на чистому водні, не викидають шкідливих забруднювачів. Якщо водень виробляється з викопного палива, виробляються деякі забруднювачі, але набагато менше, ніж кількість, що генерується звичайними викидами вихлопних труб транспортних засобів.
Зниження нафтової залежності	FCVs може зменшити нашу залежність від нафти, оскільки водень можна отримати з внутрішніх джерел, таких як природний газ і вугілля, а також відновлюваних ресурсів, таких як вода. Це зробило б нашу економіку менш залежною від інших країн і менш вразливою до цінових піків на нафту від все більш і більш хиткого нафтового ринку.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 65

Недоліки автомобілів на паливних комірках

Недоліки	
Бортове зберігання водню	Деякі FCV зберігають достатньо водню, щоб проїхати до бензинових та дизельних транспортних засобів між заправками, це близько 300 миль. Однак системи зберігання все ще занадто великі, важкі і дорогі.
Вартість транспортного засобу	FCV в даний час занадто дорогі в комплекті з гібридами і звичайними бензиновими і дизельними автомобілями. Виробництво повинно знизити виробничі витрати, особливо вартість стека паливних елементів і зберігання водню.
Довговічність і надійність паливних елементів	Системи паливних елементів ще не такі довговічні, як двигуни внутрішнього згоряння, і не працюють

6. 3. Водень як паливо. Кольори водню за методами його видобування [3].

Водень є потенційним заміником викопних палив, який може відігравати важливу роль поряд з електрифікацією за допомогою акумуляторів та відновлюваними видами палива у створенні вуглецево-нейтральних суспільств завтрашнього дня. Водень є енергоносієм з якостями, які можуть допомогти зменшити чисту суму викидів парникових газів. Однак, хоча акумуляторно-електричні транспортні засоби, машини та біопаливо можуть декарбонізувати транспорт вже сьогодні, великомасштабний водневий транспорт та інфраструктура все ще належать до майбутнього.

Водень сам по собі є безбарвним газом, але існує близько дев'яти колірних кодів для ідентифікації водню, включаючи зелений, жовтий, білий, чорний, коричневий, рожевий, бірюзовий, сірий і синій водень. Колірні коди водню показані на Рис. 6.1. Вони відносяться до джерела або процесу, який використовується для виробництва водню.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 66

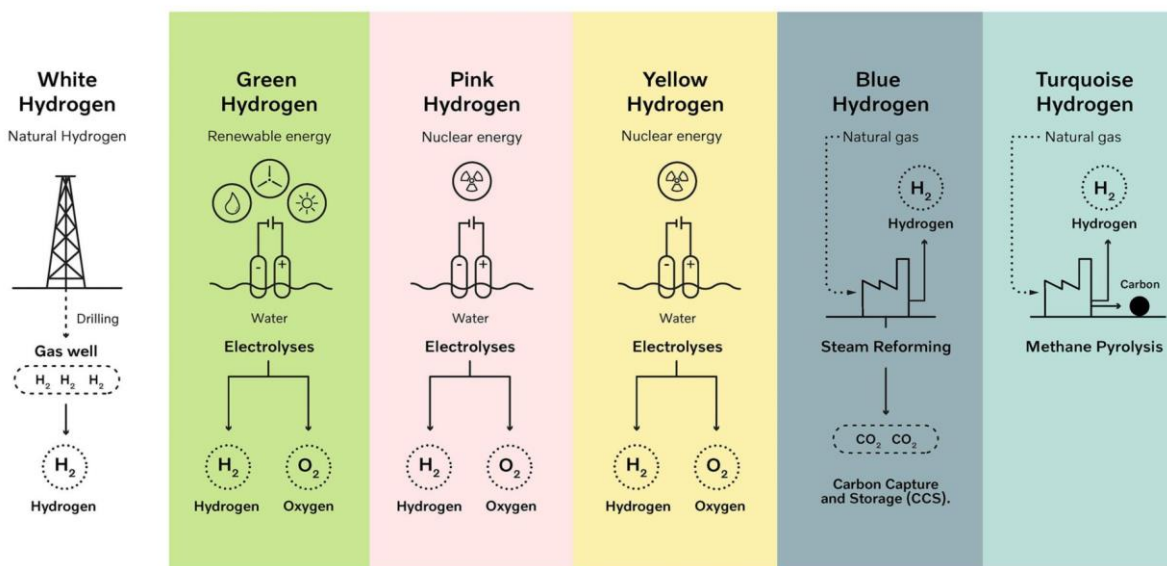


Рис. 6.1. Колірні коди водню

Ініціативи Volvo Group щодо водню та паливних елементів. Паливні елементи як концепція і використання водню в якості енергоносія не є чимось новим, але розвиток технології водневих паливних елементів, життєздатної для використання в комерційних транспортних системах і інфраструктурах, зараз прискорюється. Однак пройде ще декілька років, перш ніж він стане комерційно доступним. Паливні елементи для комерційних автомобілів та машин мають потенціал стати важливими для майбутнього транспорту та інфраструктури, де компанія VOLVO прагне прискорити розробку, виробництво та комерціалізацію рішень для водневих паливних елементів.

Колірні коди водню (Безліч кольорів водню)

Водень (H) - перший елемент в таблиці хімічних елементів. Це одночасно найлегша, і найпоширеніша речовина у Всесвіті. Він майже завжди зустрічається як частина іншої сполуки, такої як вода (H_2O) або метан (CH_4), і тому його потрібно розділити на чистий водень (H_2), перш ніж його можна буде повністю утилізувати в чистому вигляді.

Водень не є фактичним джерелом енергії, а скоріше енергоносієм - дуже важлива відмінність, яку потрібно пам'ятати. Це означає, що водень потребує первинного джерела енергії для виробництва – наприклад, сонячної, вітрової, електричної, ядерної, біо-, викопної тощо. Саме специфіка виробничого процесу та використовуваного джерела енергії визначають назву водню, тобто яким кольором водень буде позначатися, зеленим, синім, сірим чи іншим кольором.

Зелений водень (green hydrogen). Визначення терміна «зелений водень» двояке: (1) Зелений водень, отриманий шляхом електролізу з використанням відновлюваних джерел енергії (2) Зелений водень як загальний термін. Зелений водень показаний на рис. 6.2.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 67

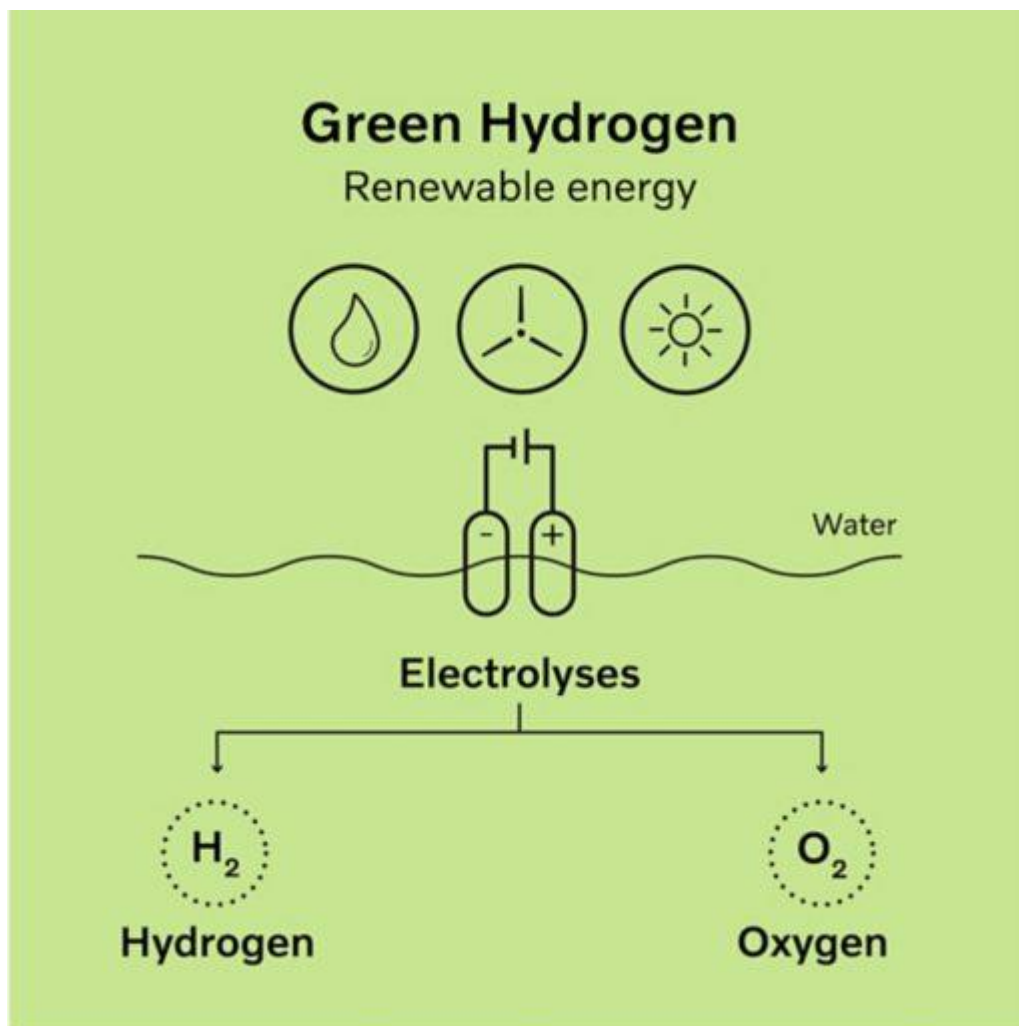


Рис. 6.2. Зелений водень

Білий водень (природний водень) . White hydrogen (Natural hydrogen). У природі водень найчастіше зустрічається в різних родовищах в газоподібному вигляді (H_2). Це називається Білим воднем. Станом на сьогодні немає життєздатної стратегії використання та видобутку цього водню. Натомість, щоб використовувати силу водню, потрібно застосовувати різні процеси для його штучного створення, що і являють собою різні кольорні номінали. Випробувальне буріння триває, і наявні ресурси, швидше за все, зіграють важливу роль в майбутньому.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 68

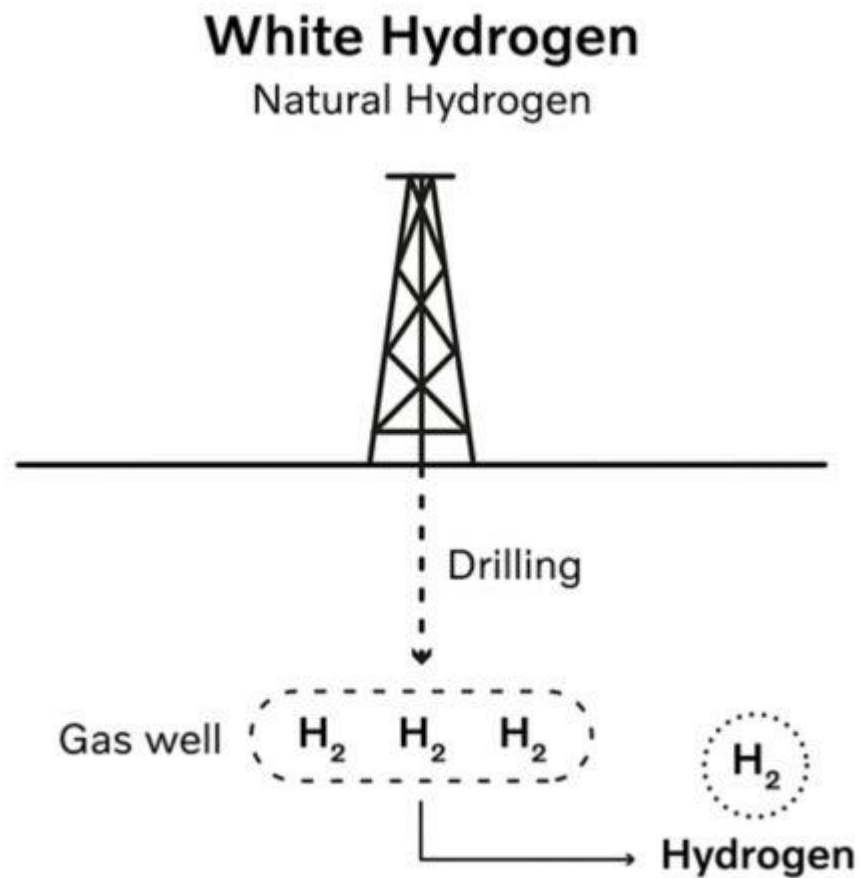


Рис 6.3. Білий водень

Блакитний водень (Blue hydrogen). Блакитний водень виробляється так само, як сірий водень за допомогою SMR, але там, де надлишок CO_2 запобігає розсіюванню в атмосфері за допомогою уловлювання та зберігання вуглецю (CCS). Блакитний водень часто називають вуглецево-нейтральним джерелом енергії. З огляду на, що ККД блоків CCS в даний час не становить 100%, більш доречним було б описувати його як низьковуглецеве джерело енергії.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 69

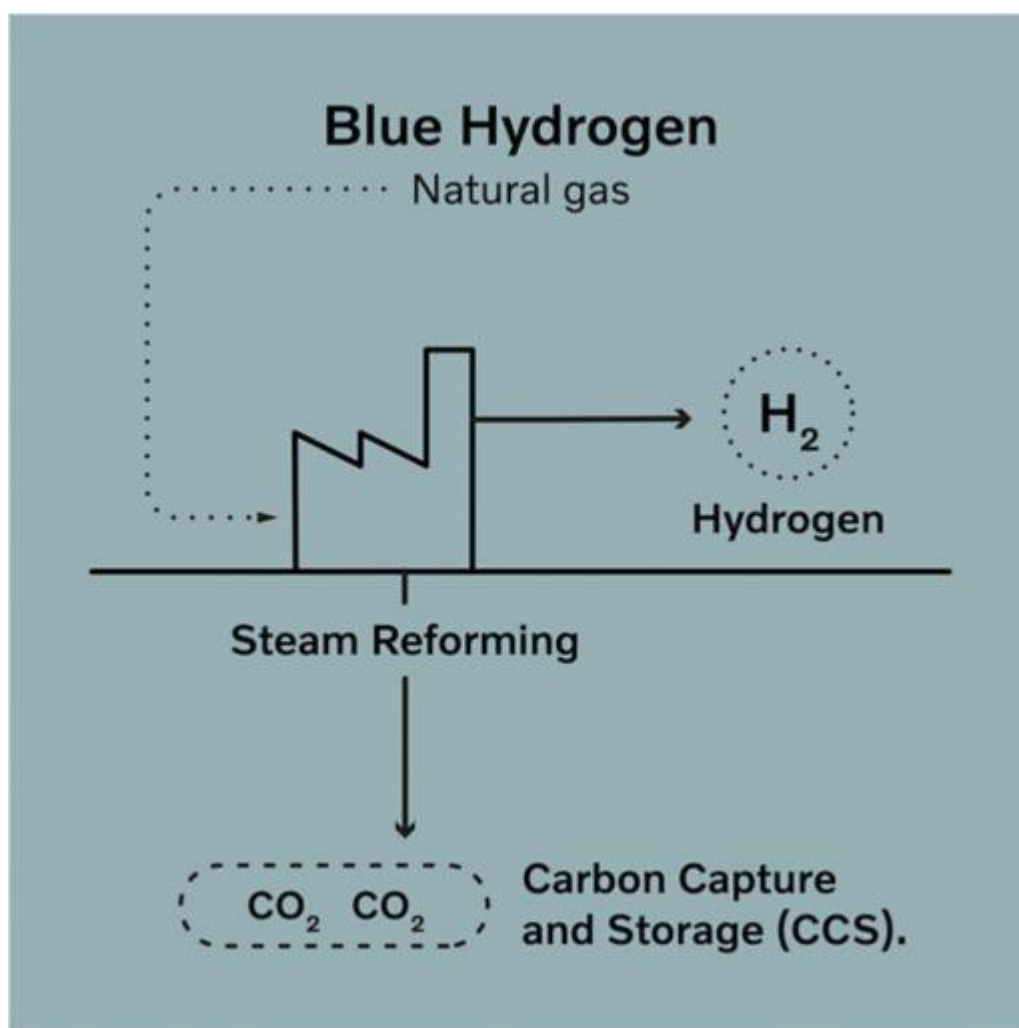


Рис. 6.4. Блакитний водень

Бірюзовий водень (Turquoise hydrogen). Цей тип водню вироблений піролізом метану. Бірюзовий водень - відносно новий і новий спосіб отримання водню. Як і сірий і блакитний водень, він використовує метан у природному газі як вихідну сировину, але використовує електроенергію, а не викопне паливо для отримання тепла за допомогою методу піролізу, також відомого як розщеплення або розтріскування. Подібно до блакитного і сірого водню, вихід з бірюзового водню - водень і вуглець.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 70

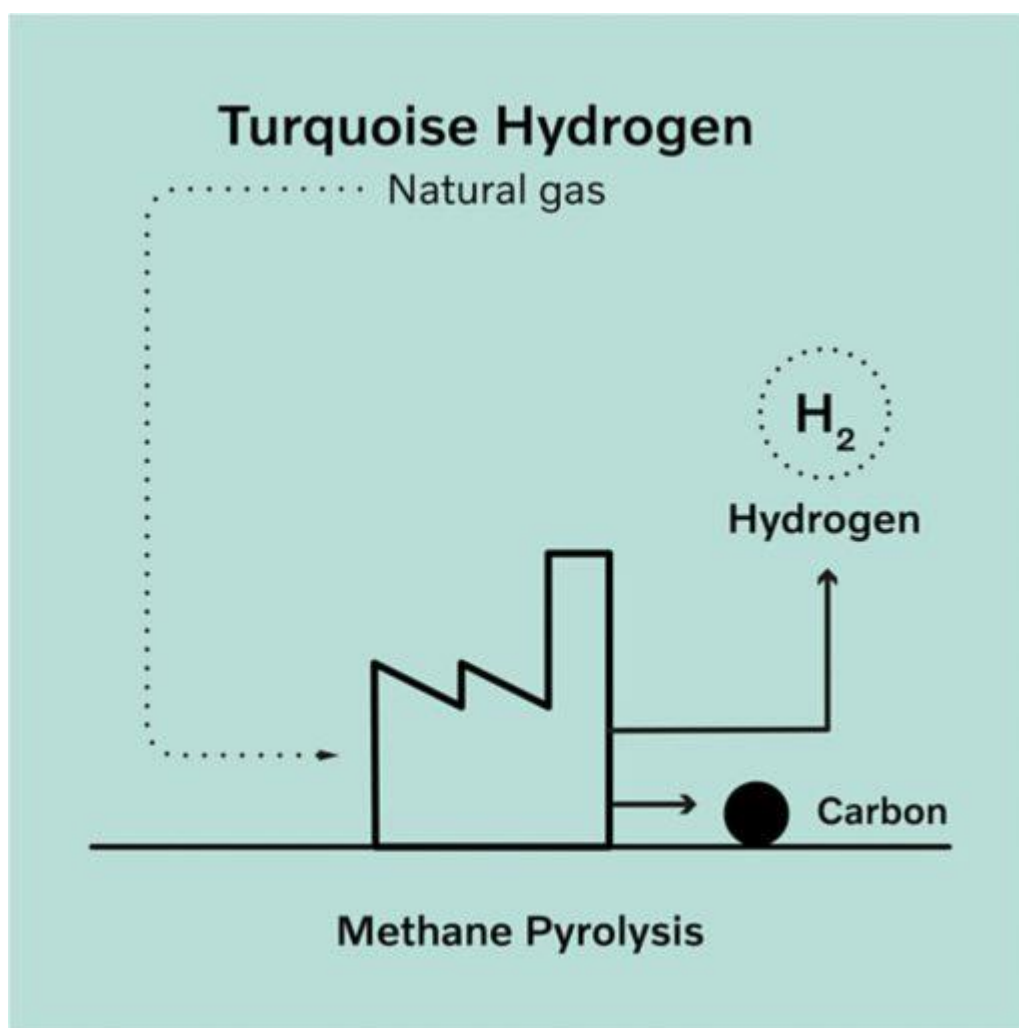


Рис.6.5. Бірюзовий водень

Рожевий водень (Pink hydrogen) Рожевий водень часто відноситься до водню, який був отриманий в процесі електролізу води, що працює на атомній енергії. Це цікавий шлях для кількох країн і виробляє чистий водень. Рожевий - це недавній номінал, що походить з Франції, куди раніше був включений водень на ядерній основі під назвою Жовтий водень.

Жовтий водень (Yellow hydrogen). Жовтий водень - один з найбільш заплутаних кодів кольорів водню. Він використовується часом для позначення водню, який отримується в процесі електролізу води, що живиться виключно сонячною енергетикою, в той час, інші вважають його електролізованим воднем, виготовленим з використанням енергії змішаних джерел (суміш електроенергії) - наприклад, сонячної, ядерної, біо-, викопної та інших. А в США Жовтий використовується тільки для водню з .

Біо можна було б відсортувати на зелений водень, щоб вказати, що це хороше рішення, але це ще не так. При використанні змішаних джерел водень забруднюється скам'янілостями. Хоча кількість забруднень з часом скоротиться,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 71

жовтий водень не буде таким чистим, як блакитний водень, протягом тривалого часу, навіть не до 2050 року.

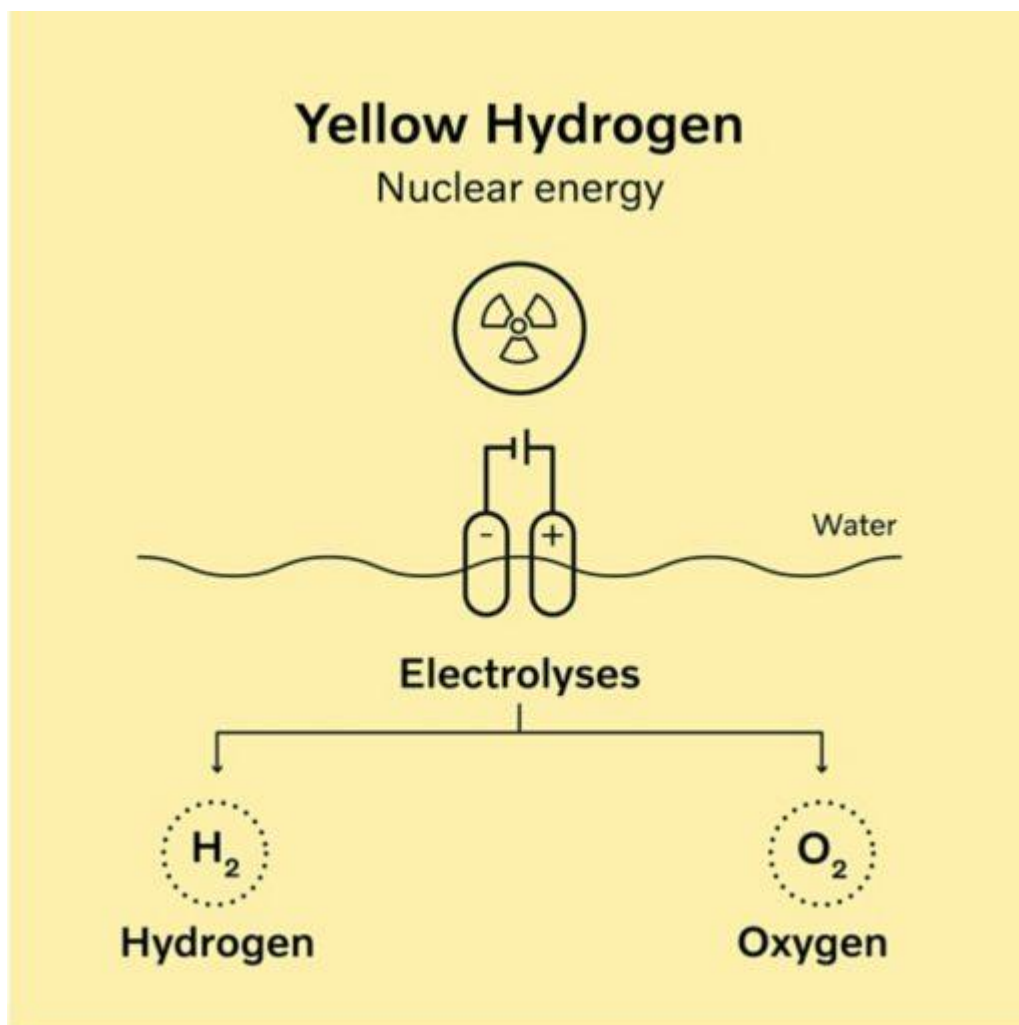


Рис. 6.6 . Жовтий водень

Водень з викопних палив.

Бурий і чорний водень (вугільний водень). Brown and Black hydrogen (Coal hydrogen). Найдавнішим способом отримання водню є перетворення вугілля на водень. Це породжує те, що називається або коричневим, або чорним воднем. Водень називають або бурим, або чорним залежно від того, яке вугілля використовується: (1) Буре вугілля - > бурий водень; (2) Кам'яне вугілля -> Чорний водень.

Бурий і чорний водень створюються в результаті процесу газифікації вугілля, які перетворюють органічні або викопні матеріали в чадний газ (CO) і вуглекислий газ (CO₂) при дуже високих температурах, без горіння, використовуючи контрольовану кількість кисню та /або пари. Чадний газ вступає в реакцію з водою з утворенням вуглекислого газу і водню. Потім водень

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 72

відокремлюють від інших елементів за допомогою фільтрів або спеціальних мембран.

Виробництво коричневого і чорного водню є дуже забруднюючим процесом, оскільки як CO₂, так і чадний газ не можуть бути використані повторно і викидаються в атмосферу. Це давній процес, який бере свій початок з 19 століття і історично відомий як «міський газ».

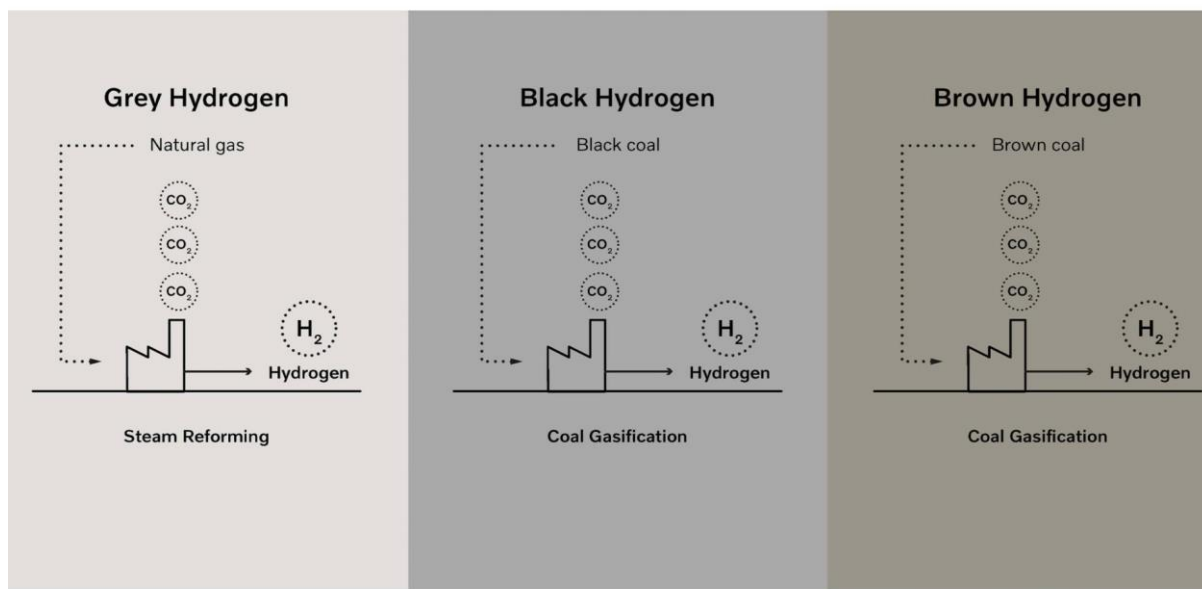


Рис. 6.7. Водень з викопних палив

Сірий водень (Grey hydrogen). Сірий водень - це водень, вироблений за допомогою SMR (Steam Methane Reforming, Паровий метановий риформінг), де надлишок CO₂ виділяється в атмосферу. На його частку припадає велика частина виробництва водню сьогодні. При виробництві Сірого водню виділяється від 9 кг до 12 кг CO₂ на 1 кг виробництва водню, в порівнянні з блакитним воднем, який виділяє 0,5-4 кг, і зеленим воднем, який по суті не містить викидів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 73

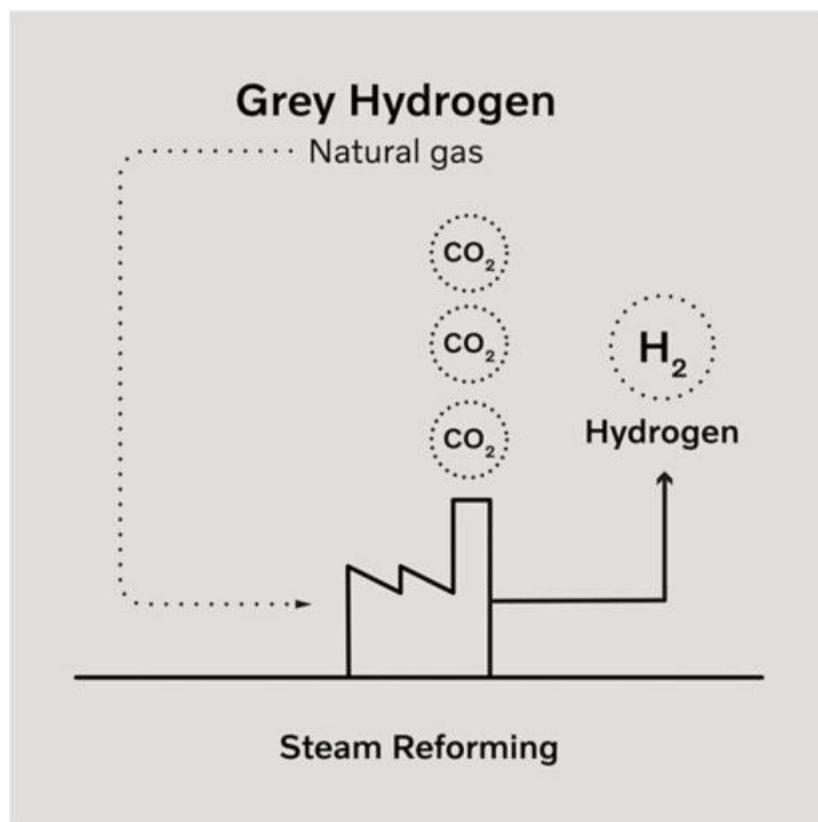


Рис. 6.8. Сірий водень

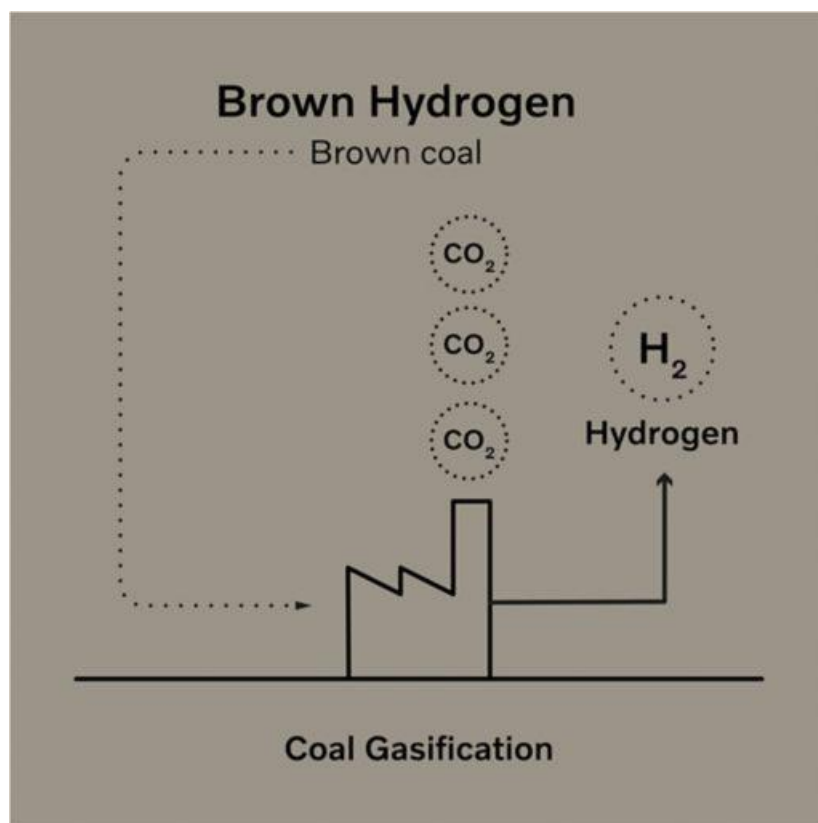


Рис. 6.9. Коричневий водень

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 74

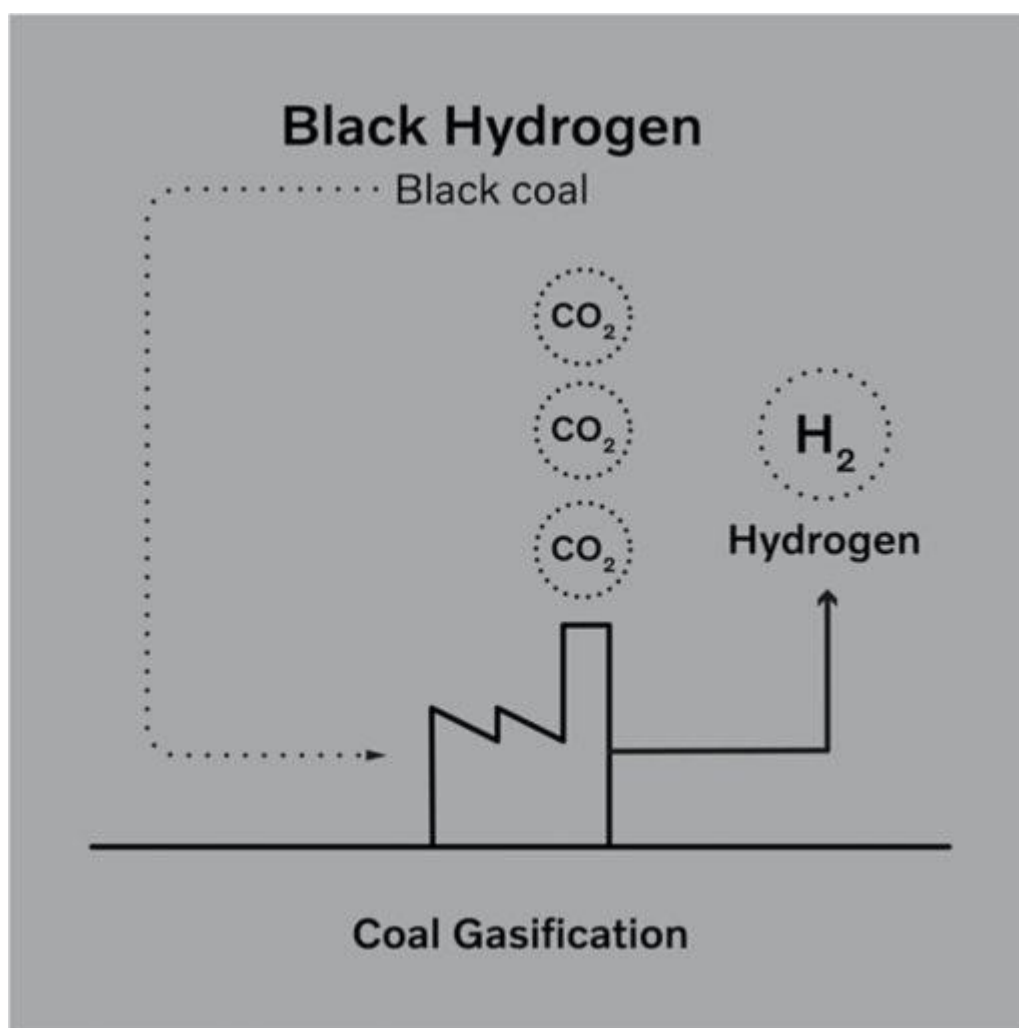


Рис. 6.10. Чорний водень

6.5. Способи отримання водню [3]

Для отримання водню, як уже говорилося раніше, його необхідно відокремити від інших елементів в молекулах, де він зустрічається. Існує багато різних джерел водню і способів його отримання для використання в якості палива. Два найбільш поширених способи виробництва - паро-метановий риформінг і електроліз, але вчені також займаються дослідженнями інших методів виробництва водню

Електроліз води. Електроліз води - це процес використання електрики для розщеплення води на кисень і водень (водневий газ), проводячи постійний електричний струм для того щоб викликати хімічну реакцію. Це найбільш обговорювана альтернатива ММР і в даний час є провідним шляхом досягнення вуглецево-нейтрального виробництва водню. Це основний шлях до встановлення водневої економіки з максимальною кліматичною вигодою.

Риформінг парового метану. Риформінг парового метану - це процес, при якому метан з природного газу або інших потоків метану (наприклад, біогазу або звалищного газу) нагрівається (за допомогою пари) в присутності каталізатора

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 75

для отримання сингазу (водню, чадного газу і невеликої кількості карбондиоксиду). На сьогоднішній день ММР є найпоширенішою технологією отримання водню з природного газу в великих масштабах.

Газифікація вугілля та інших вуглеводнів. Часткове окислення (РОХ), також відоме просто як "газифікація", водень виробляється з цілого ряду вуглеводневих видів палива, включаючи вугілля, важкі залишкові масла та інші продукти нафтопереробного заводу з низькою вартістю. Вугілля або вуглеводень вступають в реакцію з киснем в меншому, ніж стоїхіометричне співвідношення, в результаті чого виходять чадний газ і водень при дуже високих температурах (від 1200 до 1350°C).

Біологічний водень. Водень, що утворюється за допомогою дії живих організмів, має назву біологічний водень, або «біогідрогеном». Біогідроген виробляється за допомогою мікроорганізмів (таких як ціанобактерії) і сонячного світла для того, щоб перетворити воду, а іноді і органіку, в водень. Перевага цих способів отримання водню полягає в тому, що вони не призводять до будь-яких прямих викидів парникових газів. Станом на сьогодні біологічні процеси виробництва водню все ще знаходяться на ранній стадії лабораторних експериментів, але дослідники намагаються зрозуміти, повторити та оптимізувати цей процес, для того щоб, індустріалізувати його в майбутньому

Зберігання водню у сотах. Проблеми використання водню в автомобільному транспорті дуже тісно пов'язані з його зберіганням. Проблема зберігання водню на сьогоднішній день ще не до кінця вирішена і провідні вчені світу працюють над цією проблемою. Так, вчені з Харкова створили новий тривимірний матеріал на основі вуглецю, який може створити сенсацію в світі водневих автомобілів і електроніки майбутнього. Вчені з Харкова створили новий тривимірний матеріал на основі вуглецю, який може створити сенсацію в світі водневих автомобілів і електроніки майбутнього. Українські водневі соти показані на Рис. 6.11.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 76

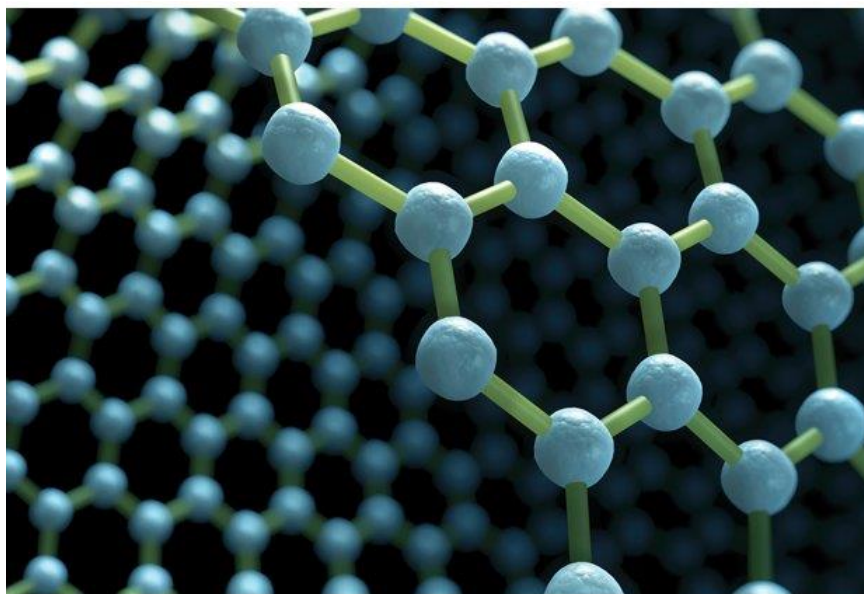


Рис. 6.11. Водневі соти

Як повідомив один з найпрестижніших в світі журналів з фізики Physical Review Letters, харківські вчені Ніна Крайнюкова з Фізико-технічного інституту низьких температур НАН України і Євген Зубарєв з Фізико-технічного факультету ХПІ відкрили і протестували нову модифікацію вуглецевого волокна. Вони охрестили її "вуглецеві соти".

Це пояснює завідувач лабораторією Інституту теоретичної фізики ім. Боголюбова Сергій Шарапов. "Здорово, що вчені донесли свої результати до всього світу. Далі тільки час може показати, чи піде технологія у промисловість". В українських сотах можна зберігати не тільки мед ... але і водень.

6.6. Енергетична політика та міжсекторальна співпраця.

Багато країн світу зараз мають амбітні водневі стратегії, а водень відіграє важливу роль у Зеленому курсі ЄС. Європейські країни показують зацікавленість у водневих технологіях і вони готові брати участь у міжсекторному використанні водню, галузі активно шукають потенційну синергію, наприклад, використанням водню вантажівками та будівельним обладнанням.

Однак існує необхідність у сертифікаті походження водню. Це робиться для того, щоб мати можливість простежити, що був використаний екологічно чистий водень і тим самим призвів до утворення низьких викидів. Це все можна використовувати як основу для рівня оподаткування. Наприклад, компанія Volvo відмічає, що вона бажає мати декларацію CO₂ про водень, а не буде цікавитися кольорами водню.

Розвиток інфраструктури для підтримки енергетичного переходу.

Національні та місцеві органи влади, галузь та інвестори повинні об'єднатися для

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 77

розвитку необхідної інфраструктури для підтримки енергетичного переходу на Зелений водень та також, щоб зробити його комерційно життєздатним. Є кілька перешкод, які потрібно подолати, наприклад, відсутність інфраструктури та ціни на водень для кінцевих споживачів. Найбільша проблема на сьогоднішній день полягає в тому, що нових офтакерів (користувачів) ще немає. Є величезна готовність інвестувати, але не без впевненості клієнтів. Вантажівки розглядаються як практичний рівень, на якому слід потренуватися, перш ніж йти дійсно великими масштабами.

Уряди та галузі повинні працювати разом. Уряди та галузі повинні працювати разом, щоб гарантувати, що як існуючі, так і нові правила не перешкоджатимуть інвестиціям у зелений водень. Торгівля воднем вииграє від загального міжнародного стандарту як для транспортування, так і для зберігання великих партій, а також для відстеження впливу на навколишнє середовище різних поставок водню.

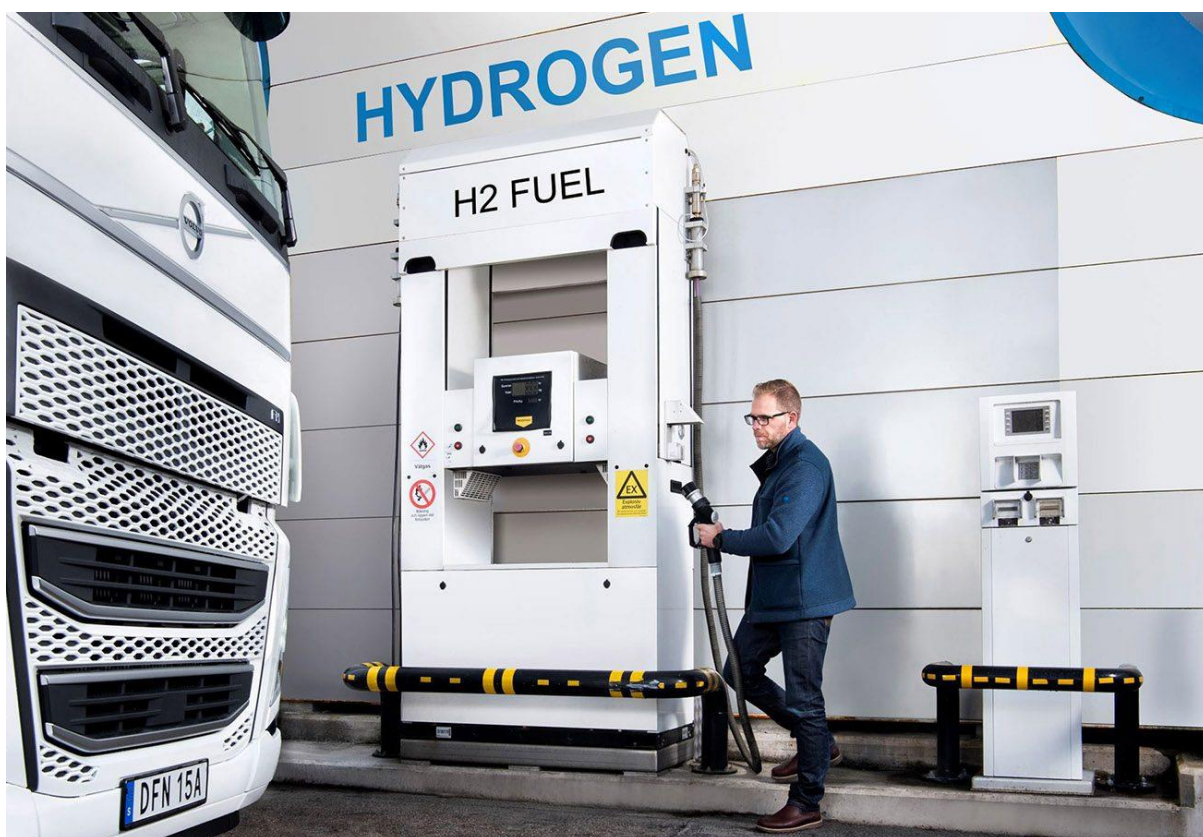


Рис. 6.12. Водень (H₂) – паливо майбутнього [3]

6.7. Розвиток паливно- комірчаних технологій [4]

Згідно статистики, яку підготувала компанія E4Tech паливні комірочки дають потужність понад 2,3 ГВт у 2021 році. Загальна кількість одиниць також зросла – на 4 000 у порівнянні з 2019 роком, і становить майже 86 000. Однак в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 78

основних компаніях – Hyundai і Toyota домінують на стороні потужності, а Ene-Farm - в агрегатах, хоча портативна потужність показала підйом. Паливні елементи ПЕМ для всіх мобільних застосувань становлять 86% МВт – навіть більше, ніж у 2020 році.

Компанія Huzon працює в напрямку стрімкого зростання випуску вантажних автомобілів, регулярно оголошуючи про фінансування, партнерство та ранні поставки. Все більше вантажівок Hyundai FC курсують по Швейцарії, регулярно і вчасно доставляючи вантаж, а кількість вантажівок в цілому в Європі зросла майже вдвічі, а також значно збільшилася кількість транспортних засобів (ТЗ) в Китаї. Cellcentric і Toyota продовжують свої шляхи розвитку в цьому секторі, і компанія Нікола (Nicola), яка мала труднощі пережила просувається вперед разом Ivesco. Майже всі великі виробники вантажівок в Європі зараз закликали до створення мережі з близько 300 високоефективних HRS до 2025 року, планується збільшення кількості біля 1,000 до 2030 року.

Помітним дисидентом по відношенню до паливних комірок є Scania, яка зараз, здається, встановила свій шлях на відновлюваних видах палива та акумуляторних електромобілях. Глобальні поставки автобусів FC дещо знизилися в 2021 році, приблизно до 1,100 одиниць, з падінням китайського попиту; У Європі спостерігалось подвоєння приблизно до 220. Залізниця, схоже, знаходиться на повільному і стабільному шляху зростання, при цьому Alstom і Siemens ще більше закріпилися з компаніями Cummins and Ballard відповідно, а провідні компанії з Індії до Північної Америки вивчають цей варіант. До кінця 2022 року в усьому світі очікується близько 50 потягів, і ще більше потягів вже замовлені. Активність використання паливних елементів також зростає в судноплавстві, з Doosan (з використанням технології Ceres), Prototech / Clara (стеки Sunfire), TECO 2030 (паливні елементи AVL) і Topsøe. Більші системи SOFC і PEM зараз активно досліджуються на предмет силових установок. Огошення від Airbus з Елрингом Клінгером, PowerCell, ZeroAvia і Універсальним воднем (з plug Power) є лише частиною поточної діяльності, причому регіональні рейси є початковою метою. Компанія Plug продовжує свою місію «тотальної системи» – зараз вона є найбільшим світовим постачальником і користувачем рідкого водню, її участь у авіаційному транспорті є однією з багатьох, які вона має на всьому транспорті, і вона прагне розширити можливості виробництва водню від придбання Giner.

Продовжують також з'являтися водневі дорожні карти, а також зростають амбіції компаній. Наприклад, компанія Plug має намір бути одним з багатьох постачальників обладнання на ринок, що розвивається, і, ймовірно, також виробленого водню. Вони є одними з небагатьох компаній, які виробляють як

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 79

паливні елементи, так і електролізери. Cummins є довгостроковим «гравцем» в цих обох напрямках; Sunfire також; Bloom частково заново відкрив своє коріння і робить SOEC, а також SOFC, а інші компанії SOFC, такі як Ceres і SOLIDpower, мають подібні розробки, що зараз продовжуються. Навіть такі стартапи, як Bramble, тепер націлені на цей напрямок. Цей набір кількох цільових ринків і навіть бізнес-моделей частково відображає попередні дні паливно-комірчаної галузі з використанням водню, коли Ballard (Баллард), охоплював всі напрямки розвитку, від портативної енергії до морської та інших стаціонарних транспортних напрямків.

Легкові автомобілі (Hyundai та Toyota). В 2021 році у світі спостерігалася найбільша кількість поставок легкових автомобілів на паливних елементах на сьогоднішній день, при цьому світові продажі перевищили 15 800 автомобілів – майже вдвічі більше 2020 року. Тож не дивно, що більшість поставок надійшло від Hyundai NEXO і нового Mirai від Toyota. Поставки перших зросли понад 9 300 одиниць у 2021 році, переважно в Південній Кореї, тоді як другі були добре прийняті в Японії та за кордоном. Обидва транспортні засоби також знаходяться в боротьбі за рекордами дальності. У квітні NEXO подолав найдовшу тоді відстань, 887,5 км (551 миль) на водневому автомобілі на одному баку, але через кілька місяців новий Mirai встановив новий світовий рекорд Гіннеса з безпрецедентними 1 360 км (845 миль) – втричі і більше дальністю автомобіля на батареях. Це, можливо, поклало тиск на Hyundai, яка оголосила про плани значно збільшити асортимент свого NEXO наступного покоління, очікуваного до 2023 року.

Кількість автомобілів на паливних елементах у Європі зростає, хоча темпи зростання не дуже великі. Близько 1,000 легкових автомобілів на паливних елементах були відправлені до Європи з Японії в 2021 році, в основному Mirais, з трохи більше 300 NEXO. Найпоширенішим видом ТЗ на паливних комірках є таксі, які повільно нарощуються у великих містах по всій Європі. 100+ таксі Mirai тепер працюють у Копенгагені, підтримуючи мету міста щодо нульового таксі до 2030 року. Осло має схожі плани. У Парижі оператор мобільності Н2 Нуре (з Total як 20% акціонером) передбачає 10 000 таксі до Олімпіади 2024 року. Мадрид хоче замінити щонайменше 1 000 таксі внутрішнього згоряння на Mirais до 2026 року.

Розвиток автобусів з ресурсозберігаючими технологіями. На COP26 13 урядів по всьому світу взяли на себе зобов'язання, щоб усі нові середні та важкі ТЗ з 2040 року були з нульовими викидами, з 30% - як проміжна ціль до 2030 року. Автобуси належать до цих категорій, і хоча деякі країни та міста/регіони мають більш амбітні цільові дати, визнаючи екологічні та соціальні імперативи

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 80

чистого транспорту, майбутнє - невимовно в нульових викидах. Електричні автобуси на паливних елементах (FCEBs), що працюють на зеленому H₂, є одним з небагатьох варіантів нульового викиду, доступних в даний час. Нинішнє покоління FCEB, що постачається по всьому світу, перевершує майже у всіх відношеннях ті, що були десять років тому. Дійсно, FCEBs (буквально) пройшли довгий шлях за десять років: вдосконаливши технологію; потім демонструючи хоча б рівні експлуатаційні показники; тепер прагнуть стати економічно конкурентоспроможними з дизельним паливом. FCEBs поступово розглядаються компаніями та урядами як рішення для нульових викидів, яке знаходиться на порозі життєздатності, з внутрішньою швидкою заправкою та великою дальністю дії порівняно з чистими акумуляторними електробусами. Близько 150 автобусів на паливних елементах, відправлених в Європу в період 2012-2015 років, залишаються в експлуатації. В період 2015-2020 рр. в Китаї працює понад 3,700 автобусів. Отже, так, як і вантажівки, в паливно-комірчаному напрямку домінує Китай. Але є плани досягти понад 1,200 автобусів у Європі до 2025 року (більше в Китаї), а 2021 рік став роком бампера для Європи, коли на континент було відправлено понад 200 нових автобусів на паливних елементах (і 158 реєстрацій). Але це порівнюється з поставками 3282 повністю електричних автобусів у 2021 році, при цьому понад 8 500 повністю електричних автобусів зареєстровані на континенті з 2012 року.

Компанія Solaris продемонструвала свій 12-метровий водневий автобус Urbino у м. Франкфурті, та м. Конін у Польщі з місцевим оператором MZK, у чеському місті Ústí nad Labem для оператора Dopravni, у місті Віллах в Австрії та для ÖBB Postbus, а також у місті Нойенштадт-на-Кохер, у Німеччині. Solaris також відправив свої FCEBs до Кельна та Вупперталя в Німеччині, до Больцано в Італії та до Гельдерланда в Нідерландах, і все це як частина LIVE. Новими OEM-виробниками, які виходять на європейський ринок, є угорська GOLDI Mobility, яка співпрацює з Ну-Hybrid Energy над розробкою свого автобуса H12; Італійський Rampini, який запустив свій E80 гібридизований 8-метровий автобус, з яких Cittavecchia замовив два; і британський ADL, який має замовлення на 20 одиниць для свого двоповерхового літака з дальністю 300 миль, Enviro400FCEV, для Ліверпуля (безпосередньо купується через регіональний Фонд міст, що трансформуються). Крім того, Hyundai продемонстрував свій автобус ELEC CITY з паливними елементами довжиною 500 км (311 миль) у Відні та Мюнхені.

На жаль, в енергетичному огляді за 2021 рік [2] не показано досягнень України у виробництві автобусів на паливних комірках, хоча відомо, що такі автобуси мали представлятися на виставці в Києві в жовтні 2021. В огляді

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 81

вказано що, росія розглядає паливні елементи як рішення ZEV, оскільки Москва вирішила, що більше не купуватиме дизельні автобуси. Одним з рішень є нещодавно представлений КАМАЗ 6290 FCEV, який буде тестуватися з 2022 року. Останній факт не перевірений і потребує підтвердження.

Більшість перетворювачів (converters) шасі OEM зосереджені на вантажівках з електричними та паливними елементами. Але Pepper motion GmbH, раніше e-troFit, планує переобладнання автобусів на силові агрегати на паливних елементах з 2024 року. Значна увага зосереджена на автобусах Mercedes-Benz Citaro C1, 12 м та Citaro C2, 12 м, з MAN A21.

Нещодавними OEM-виробниками, які виходять на європейський ринок, стала угорська компанія GOLDI Mobility, яка співпрацює з Hy-Hybrid Energy над розробкою свого автобуса H12; Італійський Rampini, який запустив свій E80 гібридизований 8-метровий автобус, з яких Cittavecchia замовив два; і британський ADL, який має замовлення на 20 одиниць для свого двоповерхового літака з дальністю 300 миль, Enviro400FCEV, для Ліверпуля (безпосередньо купується через регіональний Фонд міст (Transforming Cities Fund)). Крім того, компанія Hyundai продемонструвала свій автобус ELEC CITY з паливними елементами з пробігом 500 км (311 миль) у Відні та Мюнхені.

Transdev Normandie проводить модернізацію дизельного автобуса Iveco Crossway з IBF H2 на базі Ам'єна, (Amiens), маючи на меті розробити комплекти модернізації, які можуть продовжити середній термін служби автобусів з 14 років до 20-25 років. Німецький фахівець з силових агрегатів IAV надасть досвід у галузі безпеки систем та електронних інтерфейсів. Після завершення, Nomad Car Hydrogène матиме запас ходу 450 км на одному заправці та покриє 380 км/день на маршруті Evreux-Rouen Express.

Сьогодні на модернізацію міжміського автобуса в майстернях IBF H2 (за винятком омолодації) потрібно близько трьох місяців. Очікуваний короткостроковий термін складе 10 транспортних засобів на місяць. Для підтримки проекту буде встановлено HRS. Очікується, що станція EAS HyMob du Vieil-Evreux матиме продуктивність 50 кг/добу. Модуль паливних елементів за вибором залишається модулем Ballard, останнім, восьмим поколінням є FCmove-HD+. Повідомляється, що цей модуль на 40% компактніший за попередній модуль потужністю 100 кВт, на 30% легший і з на 50% з меншою кількістю деталей, зі збільшенням терміну служби до 40%. Але оскільки більше OEM-виробників шукають системи живлення на паливних елементах, з'являються зростаючі можливості для інших: Toyota постачає Caetano зі своїм модулем на базі Mirai (при цьому Toyota робить стратегічні інвестиції в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 82

CaetanoBus, в грудні 2020 року), Safra використовує модулі Symbio, а ElringKlinger працює з VDL, незалежно разом з Ballard, надаючи модулі для проекту CoasHyfied.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 83

Тема 7. Розвиток гібридних автомобілів та автомобілів на сонячних батареях.

7.1. Гібридні автомобілі.

Одним з найперших гібридних установок для автомобілів було поєднання ДВЗ і електродвигуна фірми Porsche, наприклад Lochner- Porsche Mixtewagen, 1898 р. ([1], стор. 233).

Наш час ознаменувався швидким розвитком технології гібридних силових установок як ефективного засобу зниження споживання рідкого вуглеводневого палива та забруднення навколишнього середовища. За останні десятиліття їх впровадження стало головним напрямком технічного прогресу світової автоконструкції та призвело до створення принципово нових конструкцій автомобілів з гібридними (комбінованими) та електричними силовими установками (ГСУ та ЕСУ), у тому числі з ГСУ на водневих паливних елементах. Фундаментальна їх відмінність від класичних установок з одиночним двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) - наявність джерела електричної енергії як основного (в ЕСУ) або додаткового. В ГСУ джерелом енергії є ДВЗ, електричні генератори, хімічні джерела струму та/або суперконденсатори, в ЕСУ - акумуляторні батареї та/або 5 суперконденсатори, у водневих ГСУ - батарея паливних елементів із джерелом водню. Також у всіх ГСУ та ЕСУ є електричний пристрій рекуперації енергії гальмування. Таким чином, електропривод на сучасному етапі науково-технічного прогресу став спільним ключовим компонентом новітніх технологій в області транспорту, які можна коротко позначити як електричні, гібридні та водневі. В сутності, мова йде про нову глобальну технологію отримання на борт автомобіля механічної енергії для його руху. Отже, гібридні автомобілі використовують переваги як від ДВЗ так і від електросилової установки.

Можна виділити два основні види комбінованих електроприводів [1]:

з паралельною схемою: на автомобілі електричний двигун приводить в рух колеса під час переміщення з визначеною швидкістю, тоді як ДВЗ функціонує лише при старті і розігнанні (розгоні);

з послідовною схемою: ДВЗ обертає вал генератора, що виробляє електричний струм, який живить електродвигун, а від нього вже крутний момент передається колесам автомобіля.

За *паралельного сполучення* можуть бути два варіанти: коли ДВЗ та електродвигун сполучені між собою до коробки передач, або електродвигун приєднаний до і після коробки передач.

У разі *послідовного сполучення* джерел енергії ДВЗ механічно сполучений з трансмісією транспортного засобу, його робота з оптимальними значеннями к.к.д. та прийнятної токсичності ВГ можлива лише за усталеної частоти

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 84

обертання. Недоліком такої схеми є необхідність багаторазового перетворення енергії. З урахуванням к.к.д. акумуляторної батареї, механічний к.к.д. при передаванні потужності від двигуна до ведучої осі ТЗ дещо більший 55%.

В табл. 7.1 показано порівняння різних схем поєднання джерел енергії за витратою палива [1].

Таблиця 7.1.

Витрата палива різними типами гібридних силових установок [1]

Показник	ГСУ послідовна	ГСУ паралельна а	ГСУ змішана	Серійний автомобіль
Витрата палива в міському циклі, л/100 км	9.2	8.4	8.2	17.4

Гібридний автомобіль Toyota Prius. Значну частину ринку гібридних автомобілів складають автомобілі «Prius» компанії Toyota. В цьому автомобілі поєднано електродвигун і бензиновий ДВЗ. Режими функціонування гібридної установки можна знайти в ([1], с.236). Toyota Prius має потужність двигуна 45 Квт (60 кс), робочий об'єм – 1.5 л, максимальну швидкість - 160 км/год, витрату палива за міським циклом – 3.6 л/км.

Акумуляторна батарея цього гібридного автомобілю - нікель-металогідрідна і складається з 240 елементів. В двигуні реалізовано цикл Міллера (впускний клапан закривається з запізненням) тому ступінь розширення більший за ступінь стискання. Такт розширення газоподібних продуктів згорання і такт стискання встановлюється незалежно і це збільшує к.к.д. Отже, можливе застосування невеликих за об'ємом камер згорання з швидким поширенням фронту полум'я. Двигун оснащений системою впорскування безпосередньо у циліндр, тут також використовується інтелектуальне регулювання фаз газорозподілу. Частота обертання двигуна 4000 об/хв.

Гібридний автомобіль Mercedes Benz C 350 e.

Технічна характеристика автомобілю приведена в [2]:

- Передачі: 7, Циліндри: 4, Тип передачі: Автоматична,
- Літраж двигуна: 1.991 см³
- Власна маса: 2.385 кг, Викиди CO₂: 53 г / км (комб.),
- Інші енергоносії: електрика, Витрата пального: 2,1 л/100 км (комб.), Витрата електроенергії: 0 кВтг/100 км (комб.)
- Паливо: Супер Е10 95, Екологічний клас: Євро 6

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 85

Автомобілі Мерседес С-класу є Plug- in Hybrid можна використовувати у наступних режимах: HYBRID, e-MODE, E- save, Charge [3].

1) **HYBRID**

- Можна використовувати як електричний режим роботи так і з ДВЗ
- Автоматичний вибір режиму вождіння з електричним режимом наскільки часто як це можливо
- Високовольтна батарея заряджається (discharging) приблизно на 12%

2) **e-MODE,**

- Можна використовувати тільки електричний режим роботи
- Вихідна електрична потужність відведена за допомогою тактильної педалі акселератора (Electric power output allotted using the haptic accelerator pedal)
- Активація роботи ДВЗ з використанням тактильної педалі акселератора

3) **E- save**

- Можна використовувати як електричний режим роботи так і з ДВЗ
- Автоматичний вибір режиму вождіння з електричним режимом наскільки часто як це можливо
- Поточний зарядний статутс високо-вольтної батареї підтримується, отже електрична енергія може бути використана пізніше

4) **Charge**

- Електричний режим роботи неможливий (Electric operation mode is not possible)
- Високовольтна батарея заряджається під час руху з двигуном внутрішнього згоряння (The high voltage battery is charging while driving with the combustion engine).

В автоматичній програмі S і під час ручного переключення коробки передач (gearshifting) доступний тільки режим *Hybrid*. Якщо переключити з автоматичного режиму водіння S на E, режим Hybrid буде все ще вибраним [3].

Тактильна педаль акселератора (Haptic accelerator pedal) допомагає зменшити витрату палива і викиди з ТЗ. Для цих цілей використовуються дві наступні функції [3]:

- додатковий тиск (pressure point) в режимі E-mode
- подвійний імпульс (double pulse) в програмі водіння E.

Для збереження палива компанія *Mercedes* рекомендує наступне [4].

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 86

- В шинах автомобілю завжди має бути рекомендований тиск.
- При повному навантаженні передні шини 270 кПа-, задні 330 кПа.
- Прибрати непотрібне навантаження
- Прибрати багажник на даху автомобіля, якщо він не потрібний
- Нагріти двигун на низькій швидкості двигуна
- Обмежити часту зміну прискорення або тормозіння
- Проводити всі експлуатаційні роботи згідно рекомендацій компанії

Так, для автомобілю *Mercedes Benz C 350e* рекомендується тиск в передніх шинах -250 кПа (36 psi), в задніх - 270 кПа (39 psi). Витрата палива також збільшується за прохолодної погоди, при русі з багатьма зупинками, на коротких відстанях, а також коли автомобіль буде рухатися під гору.

7.2. Геліомобілі [1].

Високий рівень сучасних технологій створення сонячних батарей надає можливості залучати енергію сонця для використання у ТЗ. Сонячні батареї -це сукупність фотоелементів, які з'єднані між собою і перетворюють сонячну енергію в електричну. Фотоелемент - електронний прилад, який перетворює енергію фотонів в електричну енергію. Більше інформації про геліомобілі можна знайти ([1], стор. 218).

7.3. Український електромобіль з сонячними батареями [5].

У СНУ ім. В. Даля (Східноукраїнський національний університет) презентували макет електромобіля на ім'я Єва, з сонячними батареями, вартість серійної версії такого авто може скласти \$12 тис. Проект виконується в університеті групою науковців із залученням студентів університету та Сєверодонецького політехнічного фахового коледжу.

Науковці створили макет електромобілю з покращеними характеристиками, за допомогою якого можна удосконалити технологію його виробництва та дослідити його роботу у реальних умовах. Він є цілком функціонуючим та в запропонованому вигляді здатний проїхати до 100 км та розвивати швидкість до 80 км/год. Швидкість обмежена програмно. Автомобіль оснащено електродвигуном, електробатареею (конструкцією передбачено встановлення до двох батарей).

Мета проекту Єва – створення першого українського електромобілю, який за технічними характеристиками відповідатиме світовим стандартам і матиме покращені характеристики з безпеки і комфорту; удосконалення існуючих технологій автомобілебудування, що дозволить суттєво зменшити вартість

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 87

автомобіля у порівнянні зі світовими аналогами.

Замість традиційного несучого кузова у Єви- алюмінієва рама за технологією frame-space, на якій будуть встановлені елементи кузова та інші компоненти. Елементи кузова пропонується виготовляти з полімерного матеріалу, який не вимагає лакування і не піддається корозії, за технологією вакуумної витяжки. Це дозволяє суттєво, майже вдвічі, скоротити витрати на організацію виробництва та технічне обслуговування обладнання, що істотно впливає на кінцеву вартість електромобілю, і зменшити вагу автомобіля до 1100 кг. Виготовлення елементів кузова з полімерних матеріалів відкриває можливості для рециклінгу матеріалів, що використовуються при виробництві. Автомобіль має рамну конструкцію. Кузов автомобіля виготовлено зі склопластику. Загальний вигляд електромобілю на сонячних батареях Єва показаний на рис. 7.1.

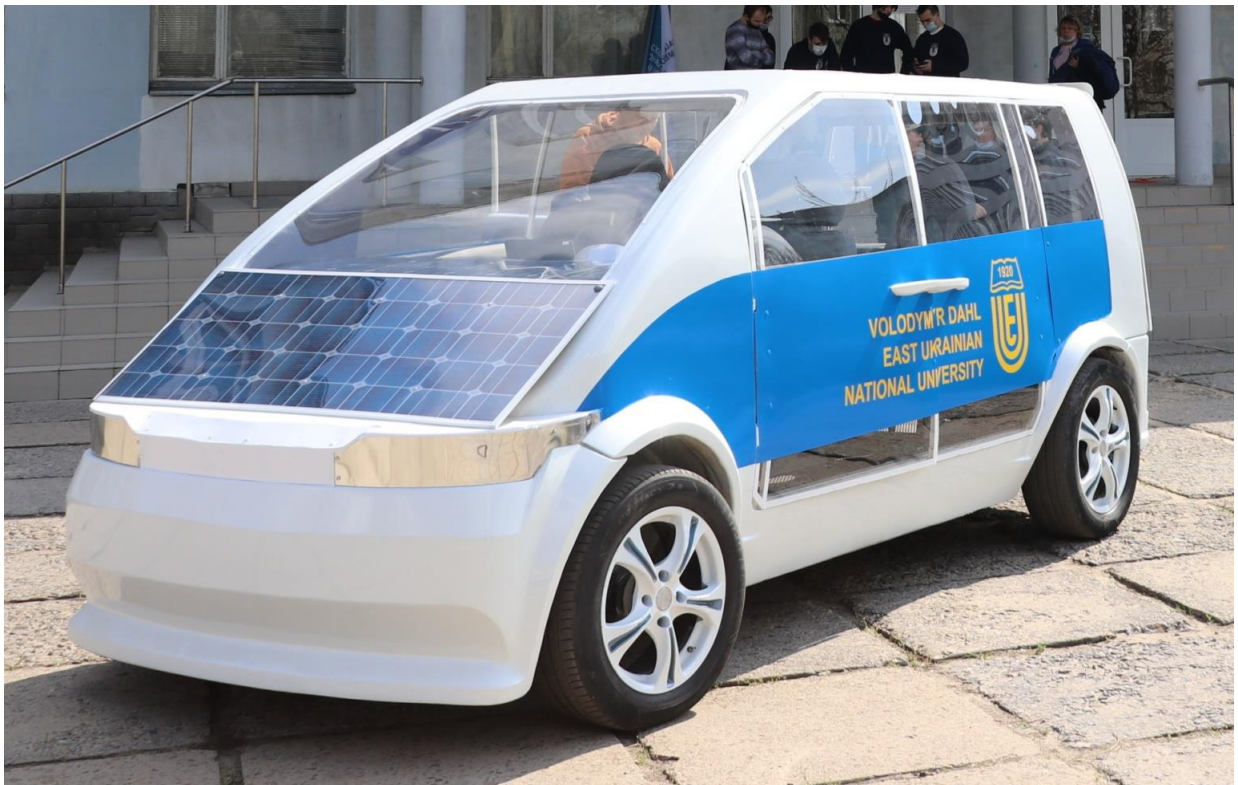


Рис. 7.1. Загальний вигляд українського електромобілю на сонячних батареях Єва [5]

Концепт пропонує можливість встановлення сонячних батарей на дах і капот електромобілю, які будуть підзаряджати основну батарею і забезпечувати додаткових 0-30 км в день, що в міських умовах істотно впливатиме на витрату батареї і збільшує її ресурс. Можливість забезпечення електромобіля додатковою батареєю завдяки рамній конструкції дозволить збільшити пробіг на одній зарядці до 500 км. Завдяки запропонованій технології виготовлення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 88

кузова електромобіль може використовуватися людьми з інвалідністю на інвалідних візках, не залишаючи самих візків. Педаль газу та гальма для цих категорій осіб будуть переміщені з ножною області в область керма.

При довжині 4 м автомобіль має рівну підлогу довжиною 3,1 м та внутрішню висоту салону, яка дозволяє здійснювати будь-яку його трансформацію, починаючи від вантажного двомісного варіанта з корисним об'ємом, який відповідає повноцінному п'ятимісному автомобілю з розміром салону на рівні бізнес-седанів. Наявність додаткового джерела енергії та кліматичної системи разом з можливістю бистої та легкої трансформації салону дозволяє реалізувати в запропонованому макеті електромобіля мобільний офіс, що є дуже актуальним в сучасних умовах.

Завдяки запропонованій «модульній платформі» базовий автомобіль можна буде за бажанням користувача достатньо легко вдосконалювати протягом експлуатації. Так, наприклад, може бути встановлена батарея та двигун більшої ємності або додаткова батарея, привід на два колеса доповнити до повнопривідної версії тощо за рахунок використання готових інженерних рішень, які легко будуть інтегруватися в базовий автомобіль.

Таким чином, група розробників пропонує новий підхід до виробництва електромобілів, що дозволяє отримати в малих габаритних розмірах недорогий конкурентний автомобіль з великим салоном, що має можливість трансформації та модифікації. Запропонований автомобіль може заповнити сегмент ринку бюджетних автомобілів вартістю від \$12,000. Також у СНУ запевняють, що Єва отримає унікальну систему безпеки як для самого автомобіля, так і для пішоходів, велосипедистів тощо. Ця технологія запатентована і вперше буде використана в автомобільному транспорті.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 89

Тема 8. Використання відходів виробництва на автомобільному транспорті.

Автомобілі з композитних матеріалів на натуральних волокнах.

Натуральні волокна, а саме, льон і конопля, використовувались для потреб людства з давніх часів. Льон також використовувався на автомобільному транспорті. Але з розвитком виробництва штучних матеріалів останні витісняють матеріали на основі натуральних волокон. В той же час, композитні матеріали на основі натуральних волокон для автомобільного транспорту почали застосовуватися в останні 10-15 років. З кожним роком все більше матеріалів в автомобільному транспорті виготовляють з відходів конопляного і льняного виробництва. З відходів конопляного виробництва виробляють спеціальну пластмасу. Вона високоміцна, тверда, вже сьогодні біля 35% автомобільних фірм використовують таку пластмасу, як внутрішнє облицювання. Далі інших компаній в конопляному автомобілебудуванні пішов концерн Ford. Сума угоди концерну Форд з Департаментом сільського господарства на розробку рослинних деталей склала 992 тисячі доларів. Для виробництва деталей використовується суміш промислових конопель з пластиком. Легкі і міцні рослинні запчастини придатні для вторинної переробки. Для виробництва не потрібні великі витрати енергії, невелика і вартість сировини. Передбачається, що використання таких деталей полегшить автомобіль на 100 кг. До речі, перший Форд із застосуванням деталей з конопель розробив на початку минулого століття сам Генрі Форд, подібна модель, була виготовлена в 1941 році. Правда, сировиною для виробництва рослинного Форда послужила в 1941р. звичайна конопля, яка містила наркотичні речовини [1,2].

Пластик на основі натуральних матеріалів. З тих пір, як пластик був винайдений на початку 19-го століття, світ став залежним від цього універсального матеріалу. На жаль, після використання він занадто часто потрапляє в навколишнє середовище, де завдає величезної шкоди живій природі. Прийшов час альтернативних рішень і допоможе цьому коноплі. Пластик з конопель є універсальним рішенням для безпеки природи.

Пластик - це прокляття і благословення для людства. З одного боку, це ідеальний і універсальний матеріал, який є широко використовуваним і досить доступним. З іншого, завдяки пластиків в світі зараз серйозний екологічна криза, включаючи величезну кількість пластику в океанах вже досягають розмірів Франції. За даними Greenpeace в океани світу скидається понад 200 кг пластику в секунду, що становить понад 8 млн. Тон пластикових відходів на рік.

Очевидним стає проблема ліквідації забруднення від пластикових виробів,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 90

а люди для того, щоб вижити повинні внести свій внесок в справу інновацій, зміни менталітету і поваги до навколишнього середовища. Хорошим рішенням «пластикового забруднення» може стати біопластик з конопель, яким планують замінити багато видів пластику.

Але що таке конопляний пластик, які існують види виробів з даного матеріалу і як він насправді зроблений? Целюлоза є найбільш поширеним органічним полімером на землі. Хоча целюлоза в основному використовується для виробництва паперу, її також застосовують для виробництва широкого спектру різних видів пластмас, включаючи целулоїд, целофан і віскозу.

Перші види пластмас були виготовлені з органічних і несинтетичних матеріалів, а целюлоза була тоді важливим елементом в розвивається індустрії пластмас. В даний час біопластик знову знаходяться в центрі уваги через їх свого екологічного переваги. Як целофан, так і віскоза походить з целюлози, тому в виробничому процесі можна активно використовувати коноплю в якості основної сировини для виготовлення целофановою фольги або віскози.

Після того, як конопляна целюлоза була витягнута з волокон рослини, її можна використовувати для виготовлення целофану, віскози, целулоїду і різних споріднених видів пластику, що показано на Рис. 8.1. Відомо, що конопля містить близько 65-70% целюлози і вважається відмінним її джерелом, головним чином через відносну міцності і низький вплив на навколишнє середовище конопляної целюлози. Для порівняння - деревина містить близько 40% целюлози, льон 65-75%, а бавовна до 90%.



Рис. 8.1. Використання целюлози для автомобільного транспорту

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 91

Целюлоза може бути використана для виготовлення багатьох видів пластиків і пов'язаних з ними матеріалів. Різниця в фізичні властивості в значній мірі обумовлена довжиною полімерних ланцюгів і ступенем кристалізації.

Целюлоза витягується різними способами з конопель та інших волокнистих культур. Сира целюлоза може бути гідролізований з додаванням води температурою 50-90 ° С для поділу компонентів. На дану сировину може бути надано додаткове теплове вплив, створюючи варіант матеріалу відомий як наноцелюлоза. Це «псевдопластик», який за нормальних умов нагадує в'язкий гель і стає більш рідким при струшуванні або навантаженні.

Наноцелюлоза або мікрофібрільована целюлоза (МФЦ) має широкий спектр потенційних застосувань. Її можна використовувати в якості армуючого матеріалу або як сильний абсорбент для видалення пролитої нафти або масляних плям. Крім того, конопляну наноцелюлозу можна використовувати для виготовлення санітарно-технічних виробів і в якості низькокалорійного стабілізатора в харчових технологіях.

Деякі європейські компанії вже включили в виробничий процес виготовлення пластика органічні компоненти, включаючи конопляні складові. Наприклад, завдяки унікальній технології виготовлення і природними властивостями конопляні целюлозні волокна перетворюються в ковкий матеріал з високою промислової міцністю, що дозволяє використовувати його для самих різних продуктів. Цей матеріал рекламується як 100% нетоксичний, біорозпадний і придатний для вторинної переробки, оскільки він може бути компостувати і пропонує дуже цікаву форму «уловлювання» вуглецю.

Сьогодні важливо впроваджувати саме біопластики на основі рослинних волокон. Біокомпозити зазвичай мають, принаймні, один важливий компонент біологічного походження. Хоча існують 100% органічні пластики, більшість з них містять деякі синтетичні елементи. Натуральне волокно зазвичай змішують з синтетичним полімером і потім маркують як біокомпозит. Існують різні комбінації натуральних волокон і полімерів, які можуть бути використані для виробництва біопластика, які сильно розрізняються по щільності, розривних навантажень, твердості і іншим аспектам. Ці фактори можуть бути змінені в процесі виробництва для створення продуктів, придатних для широкого спектра застосувань. Це стосується виробництва будівельних матеріалів, меблів, музичних інструментів, човнів, автомобільних панелей, біорозпадних побутових товарів, а в медицині - біосумісних «опорних конструкцій» застосовуються для реконструкції кісткової тканини і т.д.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 92

Проведене в 2003 році дослідження композиційних матеріалів з поліпропілену, армованого натуральними волокнами, показало, що міцність на розтягнення конопель, кенафа і сизалю порівнянна з такою у традиційних склопластикових композитів, і що конопля володіє кращими показниками по ударостійкості, ніж її конкуренти. Інші дослідження, проведені в цьому ж році на міцність і розрив конопляних волокон, показали, що, якщо вони залуговують розведеним гідроксидом натрію (NaOH) в концентраціях 4-6%, вони виявляють більш високу міцність на розрив і твердість, особливо якщо використовуються у виробництві біокомпозитних пластиків.

У 2007 році ще одне дослідження поліпропіленових композитів, армованих конопляним волокном, в даному випадку з використанням матеріалу, відомого як поліпропілен з прищепленої малеїновою кислотою (МАРР), показало, що загальне навантаження і механічні властивості збільшилися на 80% у порівнянні з традиційними склопластиковими композитами. У цьому ж році група корейських дослідників оголосила, що був створений біокомпозит на основі органічної полімолочної кислоти (PLA, важливого біорозпадного термопластичного поліефіру), посиленою волокнами конопель. Вони також виявили, що обробка конопляних волокон розведеної лугом збільшує їх міцність на розрив. Біокомпозитні матеріали виявилися міцнішими і твердими, чим пластмаси, що містять тільки PLA.

У 2009 році група дослідників зі Стенфордського університету оголосила, що був розроблений армований конопляним волокном композит біополігідроксибутирата (ВНР). Даний матеріал з конопель досить міцний, м'який і привабливий як матеріал для використання в будівництві, виготовленні меблів і як наповнювач для біокомпозити.

В ході дослідження в 2014 році, проводилися розробки повністю біорозпадних композиційних матеріалів з використанням волокон в ході яких було виявлено, що як на міцність, так і на ударну в'язкість впливають тип і кількість наповнювача, яке використовується. У більш вигідному становищі опинилися саме конопляні волокна.

Природно, що попереду ще багато досліджень, перш ніж будуть реалізовані найбільш оптимальні технології виробництва біокомпозитних матеріалів. Проте, нові дослідження розширюються, оскільки все більше людей в економічно розвинених держав усвідомлюють необхідність радикального скорочення використання товарів, виготовлених на основі переробки копалин матеріалів. В цьому аспекті конопля все частіше визнається як потенційно більш вигідний матеріал для виготовлення біопластика, оскільки має унікальні і багатоцільові властивості і характеристики.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 93

Екологізація автомобільного транспорту є використання продуктів рослинного походження. Збільшується тиск на автомобільну промисловість із використанням стійких матеріалів та зменшення загального вуглецевого сліду. Одним із способів екологізації галузі є використання продуктів рослинного походження. Конопля (*Cannabis sativa* L.) виявляється чудовим джерелом клітковини і допомагає зменшити CO₂.

Рослина не має психотропних властивостей марихуани, але демонструє великий потенціал для майбутнього використання в автомобільних кузовах та акумуляторах.

Конопля виробляє одне з найбільш стійких волокон у природі. Оскільки коноплі майже не пропускають морську воду, вона використовувалася і використовується донині для корабельних канатів і вітрил, де вона тримається краще, ніж синтетика, каже Е. Дж. Барбер, автор книги «Доісторичний текстиль».

У 1941 році Генрі Форд створив автомобіль, який отримав назву ``конопляний автомобіль " або ``соєвий автомобіль ", який, як повідомляється, використовував конопляне волокно та пластик для надзвичайно міцного кузова. Незважаючи на те, що музей Генрі Форда спростовує використання конопляного волокна, ідея конопель для автомобільного використання жива і сьогодні.

Біокомпозитні електромобілі. У 2010 році Motive Industries представила Kestrel, який називали першим біокомпозитним електромобілем. Матеріал корпусу виготовлявся з конопляних килимків, вироблених Alberta Innovates Technology Futures (AITF) в Едмонтоні, Альберта. Конопляний килимок був залитий біополімерною смолою для утворення композитного матеріалу. Кузов Kestrel було дуже легким, міцним, як склопластик, і мало посилене поглинання удару. “Ми використовували конопляні волокна довжиною 15 дюймів (15,24 см). Вони схожі на подрібнену пшеницю “. говорить промисловий дизайнер Натан Армстронг, колишній президент Motive. Однак були деякі проблеми з використанням конопель. Вартість конопляного волокна була збільшена шляхом транспортування зібраних рослин конопель для переробки декортикатором та до виробничого підприємства. Зараз, коли є вантажівки з декортикаторами, які прямують безпосередньо до конопляних полів, каже Армстронг, вартість може бути зменшена.

Іншими корисними способами використання конопель є бордюри, будівельні матеріали та тротуари з використанням продукту, що поглинає вуглець із повітря, каже Армстронг. У 2012 р. Доктор Девід Мітлін досліджував гідротермальний синтез конопель для нанолістів в літій-іонних батареях. "Ми

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 94

виявили, що внутрішня кора (луб'яний залишок), що залишилася від переробки промислової конопель, може бути перероблена та розділена на нанолисти, схожі на графен, що використовується для суперконденсаторів", - говорить Мітлін. "Нанолисти швидше заряджаються в потужних літій-іонних акумуляторах", - додає Мітлін, який зазначає, що матеріал дешевший за графен. Зараз компанія Mitlin Group комерційно використовує коноплі для батарей. На Рис. 8.2. показано приклад використання конопляного пластику для деталей автомобілю.



Рис. 8.2. Використання конопляного пластику для деталей автомобілю

Нові спортивні екологічно чисті конопляні кузови. Брюс Майкл Дітцен, засновник Renew Sports Cars, виводить використання конопель для кузовів автомобілів на новий рівень зі спеціально виготовленими конопляними спортивними автомобілями. Дітцен завжди володів спортивними автомобілями, і він хотів створити власний спортивний автомобіль. Дізнавшись про транспортний засіб Генрі Форда на матеріальній основі, він вирішив використовувати коноплю. "Парникові гази спричинені не лише спалюванням палива, але й виробництвом транспортних засобів", - говорить Дітцен. Він розповідає, що кузов автомобіля Renew на основі конопель дуже стійкий до вм'ятин, оскільки природне волокно поглинає енергію. На Рис. 8.2 показаний автомобіль, в дизайні якого використаний конопляний пластик.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 95



Рис. 8.2 Автомобіль, в дизайні якого використаний конопляний пластик [3]

Брюс Дітцен (Bruce Dietzen) та його автомобіль з коноплі, переобладнана Mazda Miata першого покоління, цей інженер з Флориди, таким чином робить певну рекламу промислово вирощеної безнаркотичної коноплі [4] .

Автомобіль Cannabis, який по суті є переобладнаною Mazda Miata раннього покоління, не виділяється тим, що є повністю електричним, хоча в ньому також можна зробити електричну трансмісію. Офіційно під назвою Renew Sports Car він пропонується в трьох конфігураціях, залежно від потреб: Canna 225 (225 к.с. і заявлене співвідношення потужності до ваги, порівнянне з Porsche 911 Cabriolet), Canna 525 (525 к.с., тільки для досвідчених гонщиків) і Canna EV. На рис. 8.3 показаний ще один автомобіль, що виготовлений з конопляного пластику.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 96



Рис. 8.3. Автомобіль, що виготовлений з конопляного пластику [4]

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 97

Список використаних джерел.

Список використаних джерел до вступу.

1. О. Васильєв і колеги. Українська енергетична стратегія. BINTEL. Журнал геополітичної аналітики. N1-2, 2022. С.31-99. (bintel.org.ua)
2. www.FuelCellIndustryReview.com.
3. An Introduction to Fuel Cells. [http:// www.thirdorbitpower.com/](http://www.thirdorbitpower.com/).
4. Julie Campbell. Is hydrogen fuel really the clean energy climate change targets need? <https://www.hydrogenfuelnews.com/hydrogenfuel-blue-research/8550301/>.
5. Richard Feast. Інтел автомобільного світу. Автомобільний світ. Лондон. Листопад 2000, с. 44–45, in English.
6. Jesse Crosse. Зовсім нова справа. Автомобільний світ, Лондон. Листопад 2000, с. 38–43, in English.

Список використаних джерел до теми 1.

1. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О. В. Сирота, Д. М. Трифонов; Нац. трансп. ун-т. - Київ : НТУ, 2015. - 243 с.
2. О. Васильєв і колеги. Українська енергетична стратегія. BINTEL. Журнал геополітичної аналітики. N1-2, 2022. С.31-99.(bintel.org.ua)
3. <https://www.volvogroup.com/en/sustainability/environmental-resources-efficiency.html>.
4. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системо-техніка проектування транспортних машин. – Х: ХНАДУ, 2004. – 205 с.
5. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту). /Вид. 2-е, перераб. и доповн. — Харків: РІО ХГАДТУ, 1999. – 468.

Список джерел до теми 2.

1. Gill S.S. Combustion characteristics and emissions of Fischer-Tropsch diesel fuels in IC engines» /Gill S.S., A. Tsolakis, K.D. Dearn, J. Rodríguez-Fernández. //Progress in Energy and Combustion Science, - 2011- No. 37. - P. 503–523.
2. Колодницька Р.В. Розпилювання дизельного палива та біопалива у двигунах внутрішнього згоряння: монографія. / Р.В. Колодницька. – Житомир: ЖДТУ, 2017. – 210 с.
3. Колодницька Р.В. Моделювання випаровування та згорання дизельного біопалива у двигунах внутрішнього згоряння. Житомир: монографія. Житомир: ЖДТУ, 2018. – 192 с.
4. Колодницька Р.В. Моделювання розпилювання біодизельного палива на основі конопляної олії//Вісник СНУ ім. Володимира Даля.- 2010- №6 (148).-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 98

С.41-46.

5. Колодницька Р.В. Моделювання фізичних властивостей та параметрів розпилювання дизельних біопалив на основі мікроводоростей. /Колодницька Р.В., Васильєв Р.В. //Вісник Житомирського державного технологічного Університету. – Житомир: ЖДТУ. – 2012. – № 3(62), – С. 80 – 87.
6. Sazhin S.S. Modelling of biodiesel fuel droplet heating and evaporation / Sazhin S.S., Al Qubeissi M., Kolodnytska R., Elwardany A.E., Nasiri R., Heikal M.R. //Fuel. – 2014 –. No.115, P. 559-572.
7. Колодницька Р.В. Аналіз впливу вуглеводневого складу біодизельного палива на робочий процес дизельних двигунів/Колодницька Р.В., Вершина Г.А., Пілатов А.Ю. //Вісті автомобільного-дорожнього інституту. – 2011. – № 1 (121). – С. 118 – 128.
8. Колодницька Р.В., Моделювання техніко-економічних показників робочого процесу біодизеля на основі рослинних олій морських водоростей. /Колодницька Р.В., Пілатов А.Ю. //Вісник СевДТУ. – Севастополь: СевНТУ, – 2012. – Вип. 134., Машинобудування і транспорт. – С.191-194.
9. Kousoulidou M., Combustion and Emissions of a Common-Rail Diesel Engine Fueled with HSCO. /Kousoulidou M., Dimaratos A., Karvountzis-Kontakiotis A., and Samaras Z. // J.Energy Eng., –2014.– No.140, SPECIAL ISSUE: Innovative Technologies on Combustion of Biofuels in Engines: Issues and Challenges, A4013001.
10. Aatola. H. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel:Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine // Aatola. H., Lanni. M., Sarjovaara, T., and Mikkonen, S. // SAE World Congress 2008, –2008.– Paper No. 2008-01-2500, Society of Automotive Engineers International, Warrendale, PA.
11. Knothe G. Biodiesel renewable diesel: a comparison / Knothe G. Progr Energy Combust Sci; –2010. – No. 36, – P. 364–373.
12. Chen P.C. Spray and atomization of diesel fuel and its alternatives from a single-hole injector using a common rail fuel injection system / Chen P.C., Wang W.C., Roberts W.L., Fang T. // Fuel.– 2013.– No. 103, – P. 850 – 861.
13. Kuti, O. Fuel Spray Combustion of Waste Cooking Oil and Palm Oil Biodiesel: Direct Photography and Detailed Chemical Kinetics / Kuti, O., Nishida, K., Sarathy, M., and Zhu, J. // SAE Technical Paper -2013-01-2554, doi:10.4271/2013-01-2554.
14. Tira H.S.Characteristics of LPG-diesel dual fuelled engine operated with rapeseed methyl ester and gas-to-liquid diesel fuels /Tira H.S., Herreros J.M., Tsolakis A., Wyszynski M.L. // Energy, No. 47, – P. 620 – 629.
15. Higgins BS. Measurement of fuel effects on liquid-phase penetration in DI sprays/

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-* 05.02/2/**/**- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 99

Higgins BS, Mueller CJ, Siebers DL. // SAE 1999-01-0519, – P.135 – 148.

16. Giakoumis E. G. Exhaust emissions of diesel engines operating under transient conditions with biodiesel fuel blends. /Giakoumis E. G., Rakopoulos C. D, Dimaratos A.M., Rakopoulos D.C. // Progress in Energy and Combustion Science, –2012. – Vol. 38, No. 5. – P. 691–715.

3. Список використаних джерел до теми 3.

1. Вебсайт програмного забезпечення Copert// Режим доступу
www.emisia.com › utilities › copert.

4. Список використаних джерел до теми 4.

1. <https://www.volvogroup.com/en/sustainability/environmental-resources-efficiency.html>

5. Список використаних джерел до теми 5.

1. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: навч. посіб. для студентів ВНЗ/ Ю. Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О. В. Сирота, Д. М. Тріфонов; Нац. трансп. ун-т. - Київ : НТУ, 2015. - 243 с. -

2. <http://energonews.kz/?p=1696>

3. http://globalpetrolprices.com/gasoline_prices/

4. <http://index.minfin.com.ua/tarif/electric/>

5. <http://biz.liga.net/tek/oil/a-95.htm>

6. О. П. СМІРНОВ, О. Б. БОГАЄВСЬКИЙ; А. О. СМІРНОВА. «Розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілями у різних країнах».

7. <https://nextcar.ua/news/ukrainskiy-elektromobil-coolon-vyydet-na-rynok-po-cene-ot-16-000/>

8. <https://nextcar.ua/servisy-trade-in-obmen/zaryadnye-stancii-dlya-ev/>

6. Список використаних джерел до теми 6.

1. Nelson Thornes. Hillier's Vehicle Fundamentals of Motor Technology. Sixth Edition, 2012. Hillier. (Книга з бібліотеки, West Herts College, UK)

2. <http://biz.liga.net/all/it/stati/3298737-uglerod-po-ukrainski-ot-gibkikh-smartfonov-do-mashin-bez-benzina-.htm>

3. <https://www.volvogroup.com/en/future-of-transportation/innovation/electromobility/hydrogen-fuel-cells.html>

4. www.FuelCellIndustryReview.com.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф.-*- 05.02/2/**/***- 20__
	Екземпляр № 1	Арк __ / 100

7. Список використаних джерел до теми 7.

1. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О. В. Сирота, Д. М. Трифонов; Нац. трансп. ун-т. - Київ : НТУ, 2015. - 243 с.
2. C-Class. PLUG-IN HYBRID Supplement. /Mercedes- Benz.. 2017, Edition AEJ2017-1a. 59 p
3. C-Class. Owner's Manual/ Mercedes -Benz. Edition AEJ2017-1a. 2017, рік, 404 p.
4. <http://www.mercedes-benz.com>
5. <https://itc.ua/news/v-snu-im-v-dalya-stvorili-elektromobil-eva-z-sonyachnimi-batareyami-vartist-serijnoi-versii-mozhe-sklasti-12-tis/> (27.04.2021)

8. Список використаних джерел до теми 8.

1. <https://www.autoevolution.com/news/meet-the-cannabis-car-the-hemp-built-renew-sports-car-that-is-greener-than-evs-183297.html>
2. http://www.youtube.com/watch?v=8AzbtWzwK8A&eurl=http://news.igring.ru/?page=news_item&id=1664
3. <http://www.ford.com/innovation/environmentally-friendly>
4. <https://greenerideal.com/news/vehicles/0926-worlds-eco-friendly-car-made-hemp/>