

Сінкевич І.В., к.техн.н., професор, Мардупенко О.О., к.техн.н., ст. викладач

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
м. Харків, Україна*

**Ключові слова:** конверсія, термохімічна переробка, процес парціального окиснення, пиролиз, газифікація біомаси.

**Вступ.** Вирішення соціально важливих проблем підвищення екологічної безпеки та збереження природних ресурсів обумовлює необхідність до переходу на альтернативну, екологічну енергетику та високоефективні технології для її реалізації на транспорті. Окремі види потенційних сировинних джерел енергії є з'єднаннями, які можуть бути безпосередньо використані в якості самостійного альтернативного виду палива для двигунів автотранспортних засобів (АТЗ). Однак не всі альтернативні енергоносії мають необхідні властивості моторних палив за умовою організації ефективного робочого процесу ДВЗ. У зв'язку із цим вважається [1,2], що подібні енергоносії доцільно піддати попередньому циклу хімічного (або термохімічного) перетворення з метою одержання нових видів палива, більш пристосованих до умов роботи двигуна. Зі сказаного випливає, що при виборі альтернативного енергоносія для транспортного ДВЗ у кожному конкретному випадку необхідно враховувати доцільність його застосування в тому виді, при якому досягається найбільший ступінь енергетичної та екологічної ефективності двигуна, а також найменший рівень технічних витрат на його адаптацію до використовуваного палива. Процеси хімічного перетворення альтернативного сировинного джерела у високоефективний вид палива супроводжуються витратами енергії та пов'язані з розробкою відповідної технологічної структури та пошуком прийняттого вихідного середовища з найбільш емними енергетичними характеристиками.

**Аналіз публікацій.** У цей час рентабельне рішення цієї проблеми, пов'язаної з більшим обсягом досліджень, до кінця ще не знайдене у світовій структурі автотранспортних технологій. Обґрунтуванню вибору вихідного (сировинного) продукту для його перетворення у високо ефективне моторне паливо присвячене досить багато робіт [1, 2, 3, 4], у яких визначено ряд газоподібних і рідких енергетично емних з'єднань, які після відповідного перетворення стають найбільш пристосованими до умов роботи транспортної енергоустановки. Традиційно в якості сировинного енергетичного середовища для отримання моторного палива в транспортній енергетиці розглядають вуглеводневі продукти. Тому в більшості випадків процес термохімічного перетворення подібного продукту протікає з виходом цільового компонента - вільного водню. Присутність водневого компонента в складі синтезованої суміші обумовлює унікальні кінетичні та екологічні показники її згоряння, високу ефективність робочого циклу ДВЗ. Цей фактор необхідно враховувати при виборі вихідного сировинного продукту.

У загальному виді основними характеристиками сировинного продукту, що визначають його придатність для виробництва воденьвмісної паливної композиції, є:

- вміст водню в сировинному продукті;
- енергетичні характеристики продукту;
- складність і вартість бортової переробки сировинного продукту;
- вартість сировинного продукту та наявність його виробництва;
- наявність в перспективі широкої сировинної бази, у тому числі поновлювальної сировини;

• характеристики бортових систем зберігання сировинного продукту з погляду можливості їх адаптації до умов енергоустановки АТЗ.

До вихідних сировинних продуктів можуть бути віднесені: природний газ, нижчі спирти (метанол, етанол), найпростіші ефіри і граничні вуглеводні (метан, пропан-бутан, бензин).

**Природний газ** (метан,  $\text{CH}_4$ ) знаходить широке застосування в якості самостійного виду палива на транспорті. Як сировина для одержання водородосодержащої паливної композиції, має ряд переваг:

- великі запаси газу в нашій країні і його відносна дешевина;
- наявність інфраструктури для транспортування;
- високий зміст водню.

**Метанол** (метиловий спирт,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ) може бути отриманий з будь-якої сировини, що містить вуглець, наприклад, природного газу, вугілля або біомаси. Існують налагоджені технології масового виробництва метанолу із задовільними техніко-економічними показниками. Метанол вже знаходить самостійне застосування в якості основного або часткового заміника нафтового палива для ДВЗ. Поширена думка, що метанол, при його використанні в якості енергоносія, більш токсичний у порівнянні із традиційними видами палива. Відповідно до діючої ПДК відносна агресивність метанолу становить 5,9 умов.т/т. Для бензину з перевагою неграничних і ароматичних вуглеводнів цей показник відповідає 17,5, для дизельного палива – 2,1. Тобто токсичність пар метанолу приблизно в 3 рази нижче, чим у бензину і приблизно в 3 рази вище, чим у дизельного палива. За кордоном накопичений величезний досвід застосування двигунів з живленням метанолом, який показує, що при дотриманні правил експлуатації транспортного засобу небезпека використання метанолу не перевищує небезпеки використання традиційних нафтових палив. В нашій країні та за кордоном були проведені оцінки ризику здоров'ю людини та безпеки при застосуванні метанолу, що включають: вибух; витоку з паливного бака; характеристики згоряння палива; токсична дія палива на людину при влученні усередину, вдиханні, влученні на шкіру або контакті з очима. Результати цієї оцінки вказують на те, що ризик при використанні метанолу значно нижче, чим при застосуванні бензину і трохи вище, чим при використанні дизельного палива.

Результатами ряду проведених досліджень [1,2] показана доцільність використання метанолу в транспортній енергетиці в якості сировинного продукту для отримання більш ефективного виду палива, яка обумовлена унікальною його здатністю до конвертування з утилізацією теплової енергії двигуна [2, 3]. Продукти хімічного перетворення (конверсії) метанолу, використовувані в якості моторного палива, практично не містять у своєму складі інертних компонентів, мають високі екологічні та кінетичні характеристики згоряння, що сприяють удосконаленню показників роботи двигуна.

Основними перевагами метанолу, як вихідного сировинного продукту для отримання нового виду моторного палива, є:

- низька температура переробки в більш ефективний вид палива;
- простота егохранения на борті автомобіля;
- наявність великотоннажного промислового виробництва як сировини для хімічної промисловості;
- наявність е поновлюваного сировинного джерела – біомаси;
- відносна дешевина.

**Етанол ( $C_2H_5OH$ )** – одноатомний спирт, отримується переважно з біомаси (цукрового очерету, кукурудзи та ін.). У ряді закордонних країн, змішуючи етанол і бензин у певних пропорціях, роблять біопаливо марок E85 (85 % етанолу і 15 % бензину) і E10 (10 % етанолу і 90 % бензину). Однак традиційні автомобільні ДВЗ не можуть працювати на E85. Використання біопалив з більшим вмістом спирту вимагає значних змін конструкцій серійних двигунів, які поки не можуть бути здійснені на сучасному технологічному рівні розвитку двигунобудівної галузі. Тому в ряді випадків етанол доцільно використовувати в якості сировинного продукту для одержання ефективного виду палива для сучасних транспортних ДВЗ. Етанол за своїми властивостями багато в чому близький до метанолу і технологія його переробки в новий вид моторного палива досить просто адаптується до існуючих систем конверсії. При цьому реалізуються всі розглянуті вище переваги, властиві метанолу[4,5].

**Бензин.** На відміну від метану і спиртів бензин не є моно компонентним з'єднанням і складається із суміші декількох граничних вуглеводнів  $C_nH_{2n+1}$  з довжиною вуглецевого ланцюжка  $n = 7.10$ . Жоден з компонентів не має переважного вмісту і для кожного сорту бензину існує гіпотетична хімічна формула. Наприклад, бензин марки АИ-95 характеризується формулою  $C_{7,14}H_{14,28}$ . Композиційний характер бензину, як вихідної сировини для одержання нового газоподібного виду палива, створює певні труднощі при створенні ефективного конверсійного процесу. При використанні суміші вуглеводнів, мабуть, у принципі, неможливо добитися таких же високих результатів, як на однорідному з'єднанні (метан, метанол, етанол). При цьому необхідне досить складне очищення від сірковмісних з'єднань, які обмежують застосування сучасних каталізаторів. Велика кількість додаткових домішок ( $CO_2$ ,  $CO$ ,  $CH$ ,  $NOX$ , тверді частки,  $SOX$ ) у складі продуктів конверсії бензину обумовлює очевидні кінетичні складності при їх згорянні та знижує ефективність енергетичних установок АТС. Крім того, через різноманіття вуглеводнів важко уникнути осадження сажі в конверсійному блоці, що зменшує ресурс його роботи. Як було відзначено вище, багато з відомих видів енергоносіїв, у тому числі й альтернативних, можуть бути використані (з різним ступенем ефективності та технологічних витрат) у якості самостійного палива для транспортних засобів. Тому для обґрунтованого вибору сировинного джерела енергії споконвічно необхідна попередня оцінка за умовою енергетичної доцільності його застосування на транспорті в тому або іншому виді, як моторне паливо. Очевидно, що доцільність попереднього хімічного перетворення вихідного енергоносія в новий вид моторного палива буде визначатися властивостями цього палива, які потенційно здатні підвищити ефективні та екологічні якості транспортного двигуна в порівнянні з вихідним енергоносієм. Одним з найбільш важливих оцінних факторів, що визначають обґрунтований вибір вуглеводневого з'єднання в якості вихідного сировинного продукту, є вміст у ньому водню і його питомі енергетичні характеристики. В порівнянні з

іншими вуглеводневими з'єднаннями зріджений метан і бензин мають найбільш високий рівень по показниках питомого енергозмісту. З урахуванням цього фактора дані енергоносії можуть бути ефективно використані безпосередньо в якості самостійного моторного палива. Правда, для рідкого метану необхідно передбачити криогенні блоки зберігання, що пов'язане з відповідними експлуатаційними проблемами. З комплексу наведених енергетичних характеристик метанол помітно уступає іншим видам палива, і його найбільш переважно використовувати в якості джерела нового, більш ефективного виду водневмісного палива в енергоустановках АТЗ. Що стосується етанолу, то він багато в чому близький до метанолу й, насамперед, по фактору адаптації до існуючих систем конверсії. Тому він може бути ефективно використаний у якості сировинного продукту для виробітку нового моторного палива. Але, з обліком накопиченого у світовій практиці досвіду по застосуванню даного енергоносія як екологічно чистого виду палива, він може бути також використаний у ДВЗ транспортних систем у вихідному виді. Очевидно, що доцільність його застосування на транспорті в тому або іншому виді, як моторне паливо, повинна оцінюватися в кожному конкретному випадку з урахуванням досягнення необхідних вимог до ефективних і екологічних якостей транспортного двигуна.

Іншим немаловажним фактором, що визначають доцільність застосування на транспорті сировинного джерела енергії для виробітку моторного палива, є показник корисного використання первинної енергії цього джерела на кінцевій стадії споживання з урахуванням енергетичних витрат на організацію процесу його термохімічного перетворення (конверсії) у водневмісну паливну композицію [6,7]. Для одержання такої композиції (синтез – газу) може використовуватися як суха так і парова конверсія вихідної вуглеводневої сполуки, так і її парціальне окиснення. Найбільш простим технологічним циклом переробки має метанол, а найбільш складним - бензин. Для різних сировинних продуктів сумарні енергетичні витрати на їхнє перетворення у водневмісний вид палива можуть бути встановлені по декільком приватним параметрам цього процесу з урахуванням ефективності кожного з них і можливості адаптації до умов енергоустановки транспортного засобу, а саме:

- температура реакції конверсії;
- вміст водню в продуктах конверсії;
- вміст в продуктах конверсії горючих компонентів;
- енергетичні витрати на нагрівання реагентів;
- енергетичні витрати на організацію конверсійного процесу.

Для одержання нового виду палива (синтез – газу) енергетично вигідно використовувати конверсію вихідного вуглеводневого з'єднання. Найбільш енерговитратним є процес його високотемпературного парціального окиснення, що створює очевидні складності при реалізації цього процесу в умовах АТЗ. З погляду сумарних енергетичних витрат на виробіток водневмісного палива вигідніше всього використовувати парогазову конверсію природного газу, що протікає, однак, при відносно високій температурі 700°C, що викликає необхідність у додатковій розробці високотемпературного джерела теплоти. Найгіршим варіантом із цього погляду є використання парової конверсії бензину. Перевагу при цьому слід віддати парової конверсії метанолу, що йде при відносно невисокій температурі, що дозволяє знизити витрати енергії для організації конверсійного процесу й використовувати для його конструкції більш дешеві матеріали. Крім того, промислова технологія синтезу метанолу практично

виключає присутність у ньому серосодержащих з'єднань, що отруюють каталізатори. Можливість застосування сучасних високоефективних каталізаторів обумовлює умови для організації конверсії метанолу з використанням низько потенційної енергії, що відходить, – теплоти ОГ двигуна, без використання зовнішнього джерела теплоти. Енергозберігаючий ефект від утилізації «безкоштовної» енергії ОГ дозволяє суттєво знизити сумарні енергозатрати на організацію конверсійного процесу, підвищити ефективність енергетичної установки в цілому [8, 9]. Важливим фактором з погляду можливості адаптації того або іншого сировинного продукту до умов енергоустановки АТЗ є масогабаритні характеристики систем, які використовуються для бортового перетворення продукту у водневмісний вид палива. По попередній оцінці системи конверсії з використанням рідких носіїв енергії – бензину та метанолу мають найбільш прийнятні масогабаритні характеристики, завдяки більш простим і компактним конструкціям конверторів і ємностей для їхнього зберігання. Системи конверсії природного газу навіть у випадку криогенного зберігання суттєво програють по масогабаритним характеристикам системам з рідкими носіями. Навіть перебуваючи під тиском 20 МПа, стислий природний газ займає в 2 рази більший обсяг, чим таке ж (по енергетичному еквіваленту) кількість рідкого енергоносія. Для зберігання компримированного газу на транспортному засобі потрібні більші, важкі балони, які забезпечують запас ходу всього 200.250 км. У сфері енергозабезпечення транспорту особливе місце слід відвести альтернативним енергоносіям, отриманим з рослинних продуктів (біомаси) – невичерпного (щорічно поновлюваного) сировинного продукту. При цьому слід зазначити, що використання в енергетичних установках палив, одержуваних з біомаси, забезпечує підтримку балансу в атмосфері диоксиду вуглецю  $C_2$ , тому що його викиди із продуктами згоряння практично повністю компенсуються в процесах фотосинтезу при вирощуванні біологічної сировини. Це сприяє розв'язку однієї з найважливіших світових проблем – зменшення парникового ефекту в біосфері. Найбільш економічно виправдано здійснювати переклад транспортних енергетичних установок, що споживають нафтове паливо, на роботу на альтернативному паливі, виробленому з місцевих сировинних джерел. Доцільність такого підходу обумовлена, насамперед, тим, що він дозволяє для кожного регіону, віддаленого від традиційних місць видобутку і переробки нафти, створити стійку паливно-енергетичну базу, що практично не залежить від привізного традиційного палива.

**Пиролиз твердої біомаси.** Пиролиз являє собою процес термічного розкладання біомаси без доступу кисню. Технології пиролізу твердої біомаси, у першу чергу, деревини для одержання рідкого палива почали активно розбудовуватися з кінця 70-х років. Була розроблена та досліджена велика кількість реакторів і процесів різного типу, у результаті чого сьогодні пиролиз ствердився як життєздатна та економічна технологія для одержання рідкого палива (пиротоплива) з біомаси [10]. Поряд з іншими технологіями пиролиз є ефективним методом термохімічної переробки біомаси, і одночасно однієї з найменш розвинених технологій її енергетичного використання. На сьогоднішній день є певний досвід використання пиротоплив у казанах, стаціонарних дизельних і газотурбінних двигунах. Поширення на автомобільному транспорті даний вид палива поки не одержав. Подібна технологія виробництва моторного палива є практично єдиною можливою для використання на транспорті, оскільки технології прямого спалювання не мають споживача на зроблене тепло безпосередньо в місцях збору й вирощування біомаси. Використання пересувних установок дозволить також

значно знизити собівартість енергії, зробленої із твердої нехарчової біомаси, внаслідок відсутності капітальних і експлуатаційних витрат на її зберігання та транспортування. Найбільш перспективними ці технології представляються для реалізації в складі пересувних установок продуктивністю 50 - 200 кг сировини/ч.

**Газифікація твердої біомаси.** Газифікація біомаси являє собою високотемпературний процес, при якому вона вступає в реакцію з обмеженою кількістю повітря або кисню та перетворюється в горючий (генераторний) газ. Повітря є найпростішим і найбільше широко використовуваним окиснювачем. Теплота згоряння генераторного газу при цьому становить  $4.6 \text{ МДж/м}^3$  (низькокалорійний газ). При застосуванні пари як додаткового реагенту в складі генераторного газу зростає концентрація водню та теплота згоряння збільшується до  $10.15 \text{ МДж/м}^3$  (середньо калорійний газ). Очищений газ може бути безпосередньо використаний у двигунах АТЗ в якості основного палива. Зрозуміло, що газифікаційна установка повинна бути портативною для її розміщення на борті АТЗ.

Роботи з газифікації твердої нехарчової біомаси і по використанню газоподібних продуктів у двигунах транспортних засобів проводимись ще у двадцяті роки минулого сторіччя. При цьому минулому досягнуті очевидні успіхи, які дозволили організувати досить у широких масштабах випуск транспортних газогенераторів. Були створені дослідні зразки газогенераторних систем, які за результатами випробувань підтвердили можливість організації ефективного процесу газифікації деревини та різних рослинних відходів. На жаль, надалі роботи в цьому напрямку були невиправдано згорнуті. Проте, аналіз закордонного досвіду показує, що газоподібні продукти, синтезовані із твердої біомаси, можуть ефективно використовуватися в сучасних транспортних двигунах як у якості основного палива (аналог газового ДВЗ), так і в якості часткового заміника рідкого нафтового палива (двигуни, що працюють на двохкомпонентному паливі, наприклад, газодизелі). Підтвердженням цьому можуть служити результати дослідження паливно-економічних і екологічних показників дизеля типу 2Ч 8,5/11 при його роботі на дизельному паливі з додаванням до повітряного заряду продуктів газифікації деревини [11,12]. Для проведення досліджень був створений дослідний зразок малогабаритної газогенераторної установки. Для підвищення вмісту в енергетичному газі водню, а також для зниження теплової напруженості конструкції газогенератора використовувався додатковий реагент – вода (водяна пара). Протягом усього циклу випробувань состав генераторного газу по окремих його компонентах змінювався (залежно від режиму роботи двигуна та продуктивності реактора) у наступних межах:  $\text{C}$ -18.20%;  $\text{H}_2$  - 12.17%;  $\text{CH}_4$ -2,5.3,0%;  $\text{O}_2$ -0,4.0,6%;  $\text{C}_2$ -8.12%;  $\text{N}_2$ -55.58%. При цьому показник енергетичних якостей (теплота сгорання) генераторного газу варіювався в межах  $5,0.8,3 \text{ МДж/м}^3$ . За результатами досвідченої апробації виявлено, що на номінальному режимі роботи двигуна реєструвалося зниження питомої витрати палива на 5,5%; зменшення змісту оксидів азоту в Г на 15%, сажі на 40%. Застосування транспортних засобів, оснащених силовими установками з більш досконалішими екологічними якостями завдяки використанню малогабаритних і ефективних газифікаторів твердої біомаси, розширює експлуатаційні можливості цих засобів, підвищуючи екологічну безпеку їх експлуатації, одночасно частково вирішуючи при цьому фінансово-технологічну проблему заготовки моторного палива. Тому в цей час у світовій дослідницькій практиці спостерігається зростання інтересу до виробництва моторних палив, які отримані із твердої нехарчової біомаси. При цьому завдання коштує не тільки

в збільшенні обсягу виробництва цього виду альтернативного палива, але і в зниженні собівартості його виробництва. Розв'язання даного завдання безпосередньо пов'язане із застосуванням нових технологічних підходів.

**Висновок.** Узагальнення результатів проведеного в статті аналізу технологій по перетворенню потенційних альтернативних джерел енергії в моторне паливо дозволяє зробити наступний висновок. Перспектива масового застосування на транспорті технології по переробці традиційного нафтового палива у водневмісні паливні композиції досить проблематична із цілого ряду факторів. Накопичений дослідницький досвід в області розробок бортових систем конверсії (реакторів) традиційних моторних палив показує, що рівень їх технічної та технологічної складності непорівнянний с еколого-економічним ефектом від застосування в енергоустановці АТЗ. Високий температурний рівень процесу переробки цих палив обумовлює необхідність додаткових витрат енергії на організацію конверсійного процесу (наприклад, спалювання частини палива на підтримку необхідного теплового режиму роботи в термохімічних реакторах). А присутність з'єднань сірки в моторному паливі виключає можливість використання високоефективних каталізаторів. Крім того, великий відносний зміст інертних (негорючих) компонентів у складі цільових продуктів конверсії створюють додаткові складності при їх спалюванні у двигуні. З урахуванням сучасного стану автотранспортного комплексу при виборі сировинного продукту необхідно, у першу чергу, урахувати технологічні можливості вітчизняної промисловості та перспективи сировинної бази. Основним енергетично виправданим напрямом досліджень по практичній реалізації технологій виробітку високоефективного водневмісного палива в складі системи живлення двигуна АТЗ є пошук вуглеводневих з'єднань, які дозволяють здійснити принципову можливість організації процесів попереднього хімічного перетворення за рахунок «безкоштовної» теплової енергії ОГ. При цьому більш кращими із цих з'єднань є ті, які забезпечують найбільший вихід головного цільового компонента конверсії – водню, зміст якого в складі синтезованої паливної композиції в значній мірі визначає кінетичні та екологічні показники двигуна при її згорянні у двигуні. У загальному виді, вибір прийнятеного альтернативного носія енергії як сировинного продукту для виробництва моторного палива є компромісом, що враховують його енергетичну цінність, температурні умови конверсії, спектр газів, що утворюються при конверсії, вартість, наявність сировинної бази, можливість адаптації до умов АТЗ і ін. З комплексу розглянутих вище факторів можна зробити висновок про те, що на сьогоднішній день метанол є одним з найбільше енергетично вигідних джерел дешевого й ефективного водневмісного палива для двигунів АТЗ. Слід відмітити, що в майбутньому у світі розвитку технологій і відповідних сировинних баз може виявитися економічно виправданим використання й інших з'єднань, які за своїми характеристиками зможуть відповідати енергетично вигідним умовам у технологічній структурі реалізації бортової конверсії. У середовищі перспективного енергозабезпечення вітчизняного транспорту представляється економічно виправданим розвиток виробництва моторного палива із твердої нехарчової біомаси (деревини та інших рослинних продуктів), у першу чергу, у регіонах, віддалених від місць видобутку та переробки нафти, що мають необмежені (поновлювані) місцеві запаси даного сировинного продукту. Це дозволить створювати стійку паливно-енергетичну базу, що практично не залежить від вуглеводневого палива, що привозять.

## Література

1. Калетнік Г. М. Розвиток ринку біопалив в Україні / Г.М. Калетнік. К. : Аграрна наука, 2008. – 464 с.
2. Шульман Р. Ф. Энергосберегающая энциклопедия биотопливных технологий и альтернативных источников энергии / Р. Ф. Шульман. К. : Украинский биоэнергетический фонд, 2006. – 560 с.
3. Fomin V.M., Makunin A.V. Thermo chemical recovery of heat contained in exhaust gases of internal combustion engines (a general approach to the problem of recovery of heat contained in exhaust gases) // *Theoretical foundations of chemical engineering*. Vol.43. No 5. 2009.– p. 834–840.
4. Bridgwater A.V., Peacocke G.V. Flash pyrolysis for biomass // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. No 4. 2000.– p. 1–73.
5. Трегобчук В.І. Ресурсно-екологічна складова національної безпеки України. // *Економіка України*. – 2002. – № 2. 4–15 с.
6. Sangeeta, Sudheshna Moka, Maneesha Pande, Monika Rani, Ruchi, Gakhar Madhur, Sharma Jyoti, Rani Ashok, N.Bhaskarwar Alternative fuels: An overview of current trends and scope for future // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol.32, April 2014, P. 697–712.
7. H.Stančin, H.Mikulčić, X.Wang, N.Duić A review on alternative fuels in future energy system // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 128, August 2020, P. 109–117.
8. M. Prussi, N. Scarlat, M. Acciaro, V. Kosmas Potential and limiting factors in the use of alternative fuels in the European maritime sector // *J Clean Prod*. 2021 Apr 1; 291: 125849.
9. Редзюк А.М., Бейко О.А., Устименко В.С. Вплив якості моторних палив на екологічні показники КТЗ, удосконалення нормативних вимог до моторних палив. // *Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: монографія*. Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2015. С. 314–329.
10. Грабова Т.Л. Альтернативне відновлювальне джерело енергії – біодизельне паливо з ріпаку : монографія. Харків. 2016. №16. С. 30–31.
11. Пришляк Н. В., Токарчук Д. М., Паламаренко Я. В. Забезпечення енергетичної та екологічної безпеки держави за рахунок біопалива з біоенергетичних культур і відходів. Вінниця: ТОВ “Консоль”, 2019. 248 с.
12. Lukas Popp , Karsten Müller Technical reliability of shipboard technologies for the application of alternative fuels // *Energy, Sustainability and Society* vol. 11, Article number: 23 2021.

## Bibliography (transliterated)

1. Kaletnik G.M. Rozvitok rinku biopaliv v Ukrayini / G.M. Kaletnik. K. : Agrarna nauka, 2008. – 464 p.
2. Shulman R. F. Energosberegayuschaya entsiklopediya biotoplivnyih tehnologiy i alternativnyih istochnikov energii / R.F. Shulman. K. : Ukrainskiy bioenergeticheskiy fond, 2006. – 560 p.



3. Fomin V.M., Makunin A.V. Thermo chemical recovery of heat contained in exhaust gases of internal combustion engines (a general approach to the problem of recovery of heat contained in exhaust gases) // *Theoretical foundations of chemical engineering*. Vol.43. No 5. 2009.– p. 834–840.
4. Bridgwater A.V., Peacocke G.V. Flash pyrolysis for biomass // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. No 4. 2000.– p. 1–73.
5. Tregobchuk V.I. Resursno-ekologichna skladova natsionalnoyi bezpeki Ukraini. // *Ekonomika Ukraini*. – 2002. – # 2. 4–15 p.
6. Sangeeta, Sudheshna Moka, Maneesha Pande, Monika Rani, Ruchi, Gakhar Madhur, Sharma Jyoti, Rani Ashok, N.Bhaskarwar Alternative fuels: An overview of current trends and scope for future // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol.32, April 2014, R. 697–712.
7. H.Stančin, H.Mikulčić, X.Wang, N.Duić A review on alternative fuels in future energy system // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 128, August 2020, P. 109–117.
8. M. Prussi, N. Scarlat, M. Acciaro, V. Kosmas Potential and limiting factors in the use of alternative fuels in the European maritime sector // *J Clean Prod*. 2021 Apr 1; 291: 125849.
9. Redzyuk A.M., Beyko O.A., Ustimenko V.S. Vpliv yakosti motornih paliv na ekologichni pokazniki KTZ, udoskonalennya normativnih vimog do motornih paliv. // *Avtomobilniy transport Ukraini: stan, problemi, perspektivi rozvitku: monografiya*. Kiyiv: DP «DerzhavtotransNDIproekt», 2015. P. 314–329.
10. Grabova T.L. Alternativne vidnovlyuvalne dzherelo energiyi – biodizelne palivo z ripaku : monografiya. Harkiv. 2016. #16. P. 30–31.
11. Prishlyak N. V., Tokarchuk D. M., Palamarenko Ya. V. Zabezpechennya energetichnoyi ta ekologichnoyi bezpeki derzhavi za rahunok biopaliva z bioenergetichnih kultur i vidhodiv. Vinnitsya: TOV “Konsol”, 2019. 248 p.
12. Lukas Popp , Karsten Müller Technical reliability of shipboard technologies for the application of alternative fuels // *Energy, Sustainability and Society* vol. 11, Article number: 23 2021.

Сінкевич І.В., Мардупенко О.О.

## **АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА**

У статті приводяться результати порівняльного аналізу та досвідченої апробації ефективності технологічних процесів по переробці деяких видів альтернативних енергоносіїв у паливо для транспортних двигунів.

Накопичений дослідницький досвід в області розробок бортових систем конверсії (реакторів) традиційних моторних палив показує, що рівень їх технічної та технологічної складності непорівнянний с еколого-економічним ефектом від застосування в енергоустановці АТЗ. Високий температурний рівень процесу переробки цих палив обумовлює необхідність додаткових витрат енергії на організацію конверсійного процесу (наприклад, спалювання частини палива на підтримку необхідного теплового режиму роботи в термохімічних реакторах), а присутність з'єднань сірки в моторному паливі виключає можливість використання вискоелективних каталізаторів. Крім того,

великий відносний зміст інертних (негорючих) компонентів у складі цільових продуктів конверсії створюють додаткові складності при їх спалюванні у двигуні. У загальному виді, вибір прийняттого альтернативного носія енергії як сировинного продукту для виробництва моторного палива є компромісом, що враховують його енергетичну цінність, температурні умови конверсії, спектр газів, що утворюються при конверсії, вартість, наявність сировинної бази, можливість адаптації до умов АТЗ і ін. З комплексу розглянутих вище факторів можна зробити висновок про те, що на сьогоднішній день метанол є одним з найбільше енергетично вигідних джерел дешевого й ефективного водневмісного палива для двигунів АТЗ. Слід відмітити, що в майбутньому у світі розвитку технологій і відповідних сировинних баз може виявитися економічно виправданим використання й інших з'єднань, які за своїми характеристиками зможуть відповідати енергетично вигідним умовам у технологічній структурі реалізації бортової конверсії. Це дозволить створювати стійку паливно-енергетичну базу, що практично не залежить від вуглеводневого палива, що привозять.

**Ключові слова:** конверсія, термохімічна переробка, процес парціального окиснення, пиролиз, газифікація біомаси.

Синкевич І.В., Мардупенко А.А.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА

В статье приводятся результаты сравнительного анализа и опытной апробации эффективности технологических процессов по переработке некоторых видов альтернативных энергоносителей в топливо для транспортных двигателей.

Накопленный исследовательский опыт в области разработок бортовых систем конверсии (реакторов) традиционных моторных топлив показывает, что уровень их технической и технологической сложности несравним с эколого-экономическим эффектом от применения в энергоустановке АТС. Высокий температурный уровень процесса переработки этих топлив обуславливает необходимость дополнительных затрат энергии на организацию конверсионного процесса (например, сжигание части топлива в поддержание необходимого теплового режима работы в термохимических реакторах), а присутствие соединений серы в моторном топливе исключает возможность использования высокоэффективных катализаторов. Кроме того, большое относительное содержание инертных (негорючих) компонентов в составе целевых продуктов конверсии создают дополнительные сложности при их сжигании в двигателе. В общем виде выбор приемлемого альтернативного носителя энергии как сырьевого продукта для производства моторного топлива является компромиссом, учитывающим его энергетическую ценность, температурные условия конверсии, спектр образующихся при конверсии газов, стоимость, наличие сырьевой базы, возможность адаптации к условиям АТС и др. Из комплекса рассмотренных выше факторов можно заключить, что на сегодняшний день метанол является одним из наиболее энергетически выгодных источников дешевого и эффективного водосодержащего топлива для двигателей АТС. Следует отметить, что в будущем в мире развития технологий и соответствующих сырьевых баз может оказаться экономически оправданным использование и других соединений, которые по своим характеристикам смогут отвечать энергетически выгодным условиям в

технологической структуре реализации бортовой конверсии. Это позволит создавать устойчивую топливно-энергетическую базу, что практически не зависит от привозимых углеводородного топлива.

**Ключевые слова:** конверсия, термохимическая переработка, процесс парциального окисления, пиролиз, газификация биомассы.

Sinkevich I.V., Mardupenko O.O.

## **ANALYSIS OF ALTERNATIVE FUEL PROCESSING TECHNOLOGIES**

The article presents the results of a comparative analysis and experimental testing of the efficiency of technological processes for the processing of some types of alternative energy sources into fuel for transport engines.

The accumulated research experience in the development of on-board conversion systems (reactors) of traditional motor fuels shows that the level of their technical and technological complexity is incomparable with the ecological and economic effect of their use in an RTS power plant. The high temperature level of the processing of these fuels necessitates the need for additional energy expenditure for the organization of the conversion process (for example, burning part of the fuel to support the necessary thermal regime of operation in thermochemical reactors), and the presence of sulfur compounds in motor fuel excludes the possibility of using highly efficient catalysts. In addition, the large relative content of inert (non-combustible) components in the composition of the target conversion products create additional difficulties when they are burned in the engine. In general, the choice of an acceptable alternative energy carrier as a raw product for the production of motor fuel is a compromise that takes into account its energy value, temperature conditions of conversion, the spectrum of gases formed during conversion, cost, availability of raw materials, the possibility of adaptation to the conditions of the RTS, etc. From the set of factors considered above, it can be concluded that today methanol is one of the most energetically beneficial sources of cheap and efficient hydrogen-containing fuel for RTS engines. It should be noted that in the future, in the world of technology development and the corresponding raw material bases, it may be economically justified to use other compounds, which, according to their characteristics, will be able to meet the energetically favorable conditions in the technological structure of the on-board conversion implementation. This will allow creating a stable fuel and energy base, which practically does not depend on the imported hydrocarbon fuel.

**Keywords:** conversion, thermochemical processing, partial oxidation process, pyrolysis, gasification of biomass.