

Шифр «Біометан»

Підвищення екологічної безпеки довкілля шляхом використання біогазу в
транспортному секторі

2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ КОМПЛЕКСУ «АВТОМОБІЛЬ- НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ»	5
1.1 Темпи виробництва та використання біогазу за кордоном.....	5
1.2 Сучасний стан та проблеми виробництва біогазу в Україні.....	8
1.3 Науково обґрунтовані та екологічно безпечні способи перетворення біогазу в біометан	12
2.1 Характеристика біометану	16
2.2 Методика розрахунку скорочення викидів парникових газів Англії ..	17
2.3 Методика розрахунку викидів ПГ на основі оцінки життєвого циклу	19
РОЗДІЛ 3 ОБґРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРУ	22
3.1 Біогаз, як перспектива покращення транспортного сектора	22
3.2 Розрахунок скорочення викидів ПГ при переході на біометан.....	25
ВИСНОВКИ.....	288
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	29
Додатки	30

ВСТУП

Актуальність роботи. Зміна клімату та якість повітря є одними з найбільших проблем у нашому суспільстві. За даними Євростату (2016 р.), на частку транспортного сектора припадає 51 % від загального обсягу використання нафти, що позначається на значному внеску у викиди парникових газів (ПГ). Наприклад, на транспортний сектор в Європі в 2014 році припадало 23 % від загального обсягу викидів ПГ в Європі. Передбачається, що споживання біометану дозволяє зазвичай знизити на 50 % викиди ПГ у порівнянні з викопним паливом. Транспортний сектор повинен пережити глибоку трансформацію у наступні десятиліття. Природний газ і особливо поновлюваний газ – це конкретна відповідь на ці виклики: це допомагає прискорити модель циркулярної економіки, де стійку біомасу переробляють та перетворюють на чисте транспортне паливо. Виробничий потенціал оцінюється в 4530 кубометрів в 2030 році, що складається з 19 млрд кубометрів, отриманих в результаті анаеробного бродіння, 13 мільйонів кубометрів від енергії газу та 13 мільйонів кубометрів, отриманих при газифікації. Із загального обсягу виробництва 9 млрд. кубометрів будуть використані на транспорт. Відновлюваний газ – результат місцевого виробництва палива, який підтримує місцеву економіку та зайнятість. У той же час виробництво стійких добрив дасть можливість переробляти поживні речовини.

Транспорт є великою проблемою в багатьох країнах, які намагаються скоротити викиди в цьому секторі. Крім того, багато країн залежать від імпорту викопних палив. У цьому випадку біометан, що виробляється на місцевому рівні, може запропонувати рішення для декарбонізації транспортного сектору. Щоб зробити це стійким, використання біометану повинно підтримуватися за допомогою стимулів, що враховують зовнішні фактори, такі як вплив палив на навколишнє середовище. Наприклад, у Швеції використання біометану в перевезеннях значною мірою субсидується податковими перевагами, а також додатковими бонусами,

такими як безкоштовна парковка або інші пільги за транспортні засоби, що працюють на відновлюваних джерелах енергії.

Мета роботи полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки довкілля та транспортного сектору зокрема шляхом використання біогазу як палива.

Завдання дослідження:

– проаналізувати існуючі типи виробництва та використання біогазу в Європі та Україні;

– оцінити проблему використання біогазу та розроблення екологічно безпечних способів переробки біогазу в біометан;

– проаналізувати характеристики та властивості біогазу;

– розробити методику розрахунку скорочення викидів парникових газів та екологічного сліду;

– обґрунтувати ефективності використання біогазу для забезпечення сталого розвитку транспортного сектору, а також можливі перспективи використання біометану.

Об'єкт дослідження – процеси виробництва біогазу, його використання для забезпечення ефективності використання у транспортному секторі

Предмет дослідження – підвищення екологічної безпеки комплексу «автомобіль-навколишнє середовище» шляхом використання біогазу як палива, та скорочення викидів парникових газів при використанні біометану.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні методики розрахунку скорочення викидів парникових газів від транспортних засобів, що працюють на різних видах палива, зокрема на біогазі (біометані), встановленні екологічної ефективності використання біогазу в транспортному секторі.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ КОМПЛЕКСУ «АВТОМОБІЛЬ-НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ»

1.1 Темпи виробництва та використання біогазу за кордоном

За останні п'ятнадцять років використання біогазової технології надзвичайно зросло, особливо в Німеччині. На кінець 2017 року майже 9 500 з близько 13 400 європейських біогазових установок знаходились у Німеччині. Вони перероблюють комунальні та промислові біовідходи (688 заводів), гній, інші сільськогосподарські залишки, а також енергетичні культури (12 721 заводів). Якщо врахувати також установки, що базуються на сміттєзвалищі та каналізаційних газах, ця кількість становить загалом 17 783 європейських біогазових установок.

Ці 9 500 біогазових установок забезпечують близько п'яти відсотків валового виробництва електроенергії Німеччини з встановленою електричною потужністю понад 4 ГВт. Вони також забезпечують теплом домогосподарства, галузі, господарства та інші будівлі. Крім того, близько 450 модернізуючих установок у Європі перетворюють біогаз у цінний біометан, який може використовуватися тими ж способами, що й природний газ, також як транспортне паливо. Окрім відновлюваної енергії, біогазові установки виробляють високоцінні добрива та багаті гумусом добрива, що робить технологію біогазу справжньою всебічною.

До 2019 року близько 400 установок для переробки відходів у Німеччині використовували біовідходи як сировину, і лише за той рік близько 135 з цих установок використали загалом два мільйони тон органічних відходів, виділених з домогосподарств. В усьому світі виробництво біогазу з відходів зростає, і це може стати найважливішою системою поводження з відходами та виробництвом енергії у розвинених країнах та країнах, що розвиваються.

Крім того, виробництво біогазу значно скорочує викиди парникових газів (ПГ), замінюючи викопні енергоносії та енергоємні мінеральні добрива, і це дозволяє

уникнути викиду метану (CH_4) в атмосферу, що є результатом зберігання засвоєваної речовини: органічний матеріал, як гній або органічні відходи (наприклад, на сміттєзвалищах, відкритих лагунах або інших видах зберігання).

Наприклад, у Німеччині майже 2 мільйони тон CO_2 щороку уникають від перероблення органічних відходів. Середній викид вуглецю від громадянина Німеччини становить близько 10 тон на рік. Шляхом засвоєння відходів викиди майже 200 000 жителів можуть бути нейтралізовані відповідно. Інші країни мають як вищий, так і нижчий слід вуглецю. Наприклад, в Індії кожна людина виробляє приблизно дві тони на рік. Хоча різні органічні відходи та побічні продукти, що використовуються на біогазових установках, мають різний енергетичний вміст, в середньому можна уникнути близько 150 кг CO_2 на тону перероблених біовідходів. Це означає, що виробництво біогазу з приблизно 10 тон біовідходів дозволяє економити викиди ПГ одного громадянина в Індії [4].

У Додатках А та Б схематично наведений шлях від сировини до потенційних споживачів виробленого біогазу та біометану, та принцип роботи біогазової установки. На рис. 1.1 схематично наведені основні види та джерела субстратів, що є сировиною для виробництва біогазу.

У Європі ринок біометану швидко розвивається, з кожним роком збільшується двозначний показник: кількість європейських біометанових заводів за п'ять років піднялася з 187 до 459. Німеччина займає найбільшу частку цього зростання, за цей же час збільшився з 87 до 185 рослин. 15 країн використовують методи модернізації для отримання біометану (Австрія, Швейцарія, Німеччина, Данія, Іспанія, Фінляндія, Франція, Угорщина, Ісландія, Італія, Люксембург, Нідерланди, Норвегія, Швеція, Великобританія). Від 43 % до 55 % усіх європейських біометанових заводів розташовані в Німеччині – точний відсоток змінюється з року в рік [1].








-  Органічна фракція твердих побутових відходів (ТПВ)
-  Муніципальні біовідходи, відокремлені джерелами
-  Мул комунальних стічних вод
-  Промислові та комерційні відходи
-  Побічні продукти тваринного походження
-  Енергетичні культури
-  Рослинні субпродукти

Рисунок 1.1 – Сировина для виробництва біогазу

Розподіл біометанових заводів у європейських країнах (рис. 1.2).

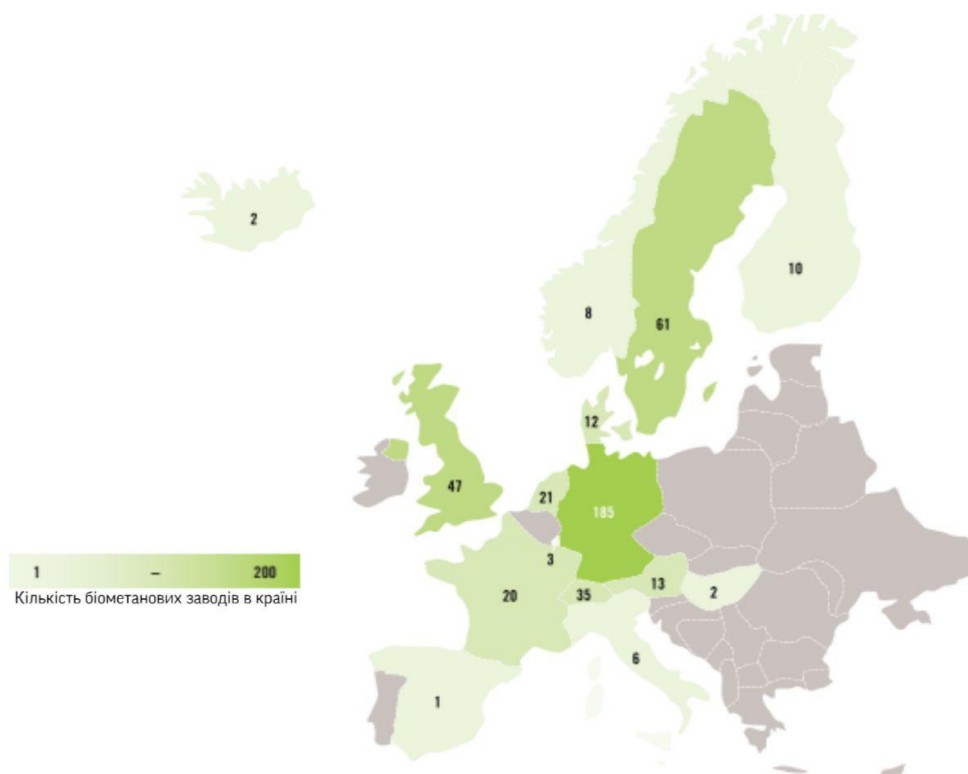


Рисунок 1.2 – Біометанові заводи в Європі у 2015 році (Статистичний звіт ЄБА, 2016)

У Німеччині наразі існує близько 900 газових станцій, що містять близько 100 000 автомобілів на газовому двигуні, включаючи автомобілі, автобуси та вантажні автомобілі. Більшість автозаправних станцій CNG (Compressed Natural Gas – стиснений природний газ (СПГ): газоподібні вуглеводні, які утворюються в земній корі, високоекономічне енергетичне паливо) продають суміш природного газу та біометану, а близько 125 з них уже продають 100 % біометан з біогазових установок. У 2015 році в усьому світі було близько 22,7 мільйонів транспортних засобів на природний газ. Країни, що ведуть цю тенденцію, - Китай, Іран, Пакистан, Аргентина, Індія та Бразилія.

Уже існує багато історій успіху щодо використання біометану в транспортній галузі. У Берліні біогазовий завод, керований компанією з охорони навколишнього середовища та експлуатаційних послуг, переробляє 60 000 тонн окремо зібраного біологічного сміття з домогосподарств на рік. Отриманий біогаз модернізується до біометану і забезпечує 150 вантажівок для збору відходів біометаном на трьох газозаправних станціях, зменшуючи споживання дизельного палива на 2,5 мільйона літрів дизеля та викидів CO₂ на 12 000 тон щороку. У сільському господарстві існують прототипи тракторів, що експлуатуються із СПГ [1].

1.2 Сучасний стан та проблеми виробництва біогазу в Україні

Для досягнення рівня 11% енергії з ВДЕ в загальній структурі енергоспоживання та, зокрема, впровадження положень вищезазначеної Директиви, розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2014 р. № 902-р було затверджено Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 рокуб. Окремо, для впровадження ДВДЕ розпорядженням Кабінету Міністрів України від 3 вересня 2014 р. № 791-р було затверджено «План заходів з імплементації Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 р. про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії та якою вносяться зміни до, а в подальшому скасовуються Директиви

2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС»7. Згідно п. 10 цього Плану необхідно до кінця 2015 року «розробити і забезпечити оприлюднення на офіційних веб-сайтах Мінприроди, Держекоінвестагентства та Держенергоефективності методики проведення розрахунку показників скорочення обсягів викидів парникових газів для біопалив та біорідин».

В Україні частка біоенергетики у загальній структурі споживання енергії дуже низька порівняно із ЄС. Якщо у ЄС біоенергетика займає 18–20 % ринку, то у нас цей показник на рівні – 5%. Станом на початок 2019 року в Україні налічувалося 18 діючих біогазових станцій. Сумарна встановлена потужність проектів на кінець 2018 року сягала 27,3 МВт – потужність окремих проектів становить від 0,125 до 5,7 МВт.

Здебільшого проекти біогазу в аграрному секторі орієнтовані на виробництво електричної енергії та подальший продаж її за «зеленим» тарифом. Наприклад, у 2017 році біогазові установки скинули у загальні мережі 53 ГВт·год електроенергії, а у 2018, у міру введення нових потужностей в експлуатацію – вдвічі більше, близько 113 ГВт·год. Лише поодинокі об'єкти в Україні корисно утилізують теплову енергію, вироблену за рахунок біогазу.

На «Оріль-Лідер» протягом п'яти років було вироблено 100 млн м³ біогазу і 200 млн кВт·год електроенергії, скорочено викид парникових газів на 700 000 т у еквіваленті CO₂, утилізовано 300 000 т курячого посліду та очищено 700 000 м³ стічних вод [6].

Кількість біогазових установок, що працюють за «зеленим» тарифом в Україні зросла з 7 установок (7 установок на полігонах побутових відходів, 0 сільськогосподарських установок) станом на 2012 рік до 27 установок (18 установок на полігонах побутових відходів, 9 сільськогосподарських установок) станом на 2018 рік. У 2013 році перші біогазові комплекси почали вводити в експлуатацію й сільгосппідприємства, та за 5 років кількість біогазових комплексів, що працюють на біогазі з сільського господарства, збільшилася з 2 до 12.

За інформацією Біоенергетичної асоціації України, найближчими часом очікується як мінімум подвоєння електрогенеруючих потужностей на біогазі. Вже є інформація про наміри «Миронівського хлібопродукту» щодо будівництва комплексу біогазу потужністю 20 МВт у Вінницькій області, «Теофіпольської енергетичної компанії» (біогазова станція на 15 МВт у Хмельницькій області) та «Гудвеллі» – щодо введення в експлуатацію 1 МВт потужностей в Івано-Франківській області.

Діючий комплекс «Оріль-Лідер» на Дніпропетровщині стабільно генерує 5,5 МВт на добу. За п'ять років комплексом було утилізовано 300 000 т курячого посліду, вироблено 100 млн куб. м біогазу, з яких було згенеровано 200 млн кВт електроенергії [5]. Перша черга Ладижинського біогазового комплексу буде щоденно переробляти 460 т курячого посліду, 60 т силосу, 60 т гною плюс ротаційний шлак забійного залу. Генерувати вона буде 120 000 куб. м біогазу на добу, 240 000 кВт «зеленої» енергії та 150 т пару [4].

При сьогоднішньому «зеленому» тарифі вигідно будувати станції потужністю більше 1 МВт, які б працювали на різній сировині. Цукрові заводи є фаворитами ринку біогазової енергії. Адже саме вони мають величезну кількість сировини. Окрім виробництва цукру, є можливість із жому виробляти електроенергію цілий рік і заробляти на її продажу.

Потенційні ринки біометану/біогазу в Україні

- виробництво електроенергії з біометану з використанням ГТС (підвищення ефективності використання палива);
- зберігання біометану в ГТС з подальшим виробництвом електричної енергії в режимі пікових навантажень електромережі (компенсація швидкого розвитку ВДЕ – сонячної та вітрової енергії);
- використання біометану як моторного палива для виробників с/г продукції (забезпечення паливами за рахунок споживання відходів і побічної продукції власного виробництва) для громадського транспорту та вантажних авто (зменшення забруднення повітря у великих містах) для легкових авто (приклад в ЄС – Італія);

– пряме заміщення природного газу біометаном (скорочення викидів парникових газів – Паризька Угода);

– експорт біометану в ЄС (Національний Реєстр Біометану).

Використання біометану як моторного палива.

Новий Закон України про заохочення споживання біометану та біопалива нового покоління на транспорті на період 2020–2030 рр. (на основі директиви ЄС RED II):

— зобов'язання збільшення частки відновлюваних газів/біометану в структурі використання на транспорті (5 – 10 % в 2030 році);

— зміни до Податкового Кодексу – акцизний податок (енергія, CO₂) на викопне паливо, звільнення від сплати податку на біометан/відновлювані гази;

— зміни до Національної енергетичної стратегії – наявність цілей щодо використання біометану (наприклад, кількості станцій для заправки стисненого або зрідженого біометану в 2030 році);

— визначення короткострокових (2030 р.) та довгострокових (2040 р.) цілей аналогічно рідкому біопаливу (Національний план до 2030–2040 рр.);

— впровадження заходів та програм підтримки транспортних засобів, що використовують біометан в муніципалітетах та сільському господарстві;

— інвестиційні програми для муніципалітетів та агропідприємств;

— заходи з просування біометану як моторного палива (премія за «зелений» автомобіль, підтримка АЗС з реалізацією БМ, інвестиційні гранти);

— впровадження субсидій на розвиток інфраструктури постачання та споживання БМ [6].

У 2018 році в Україні вироблено 7,8 млрд м³ CH₄ або 25 % споживання ПГ в Україні.

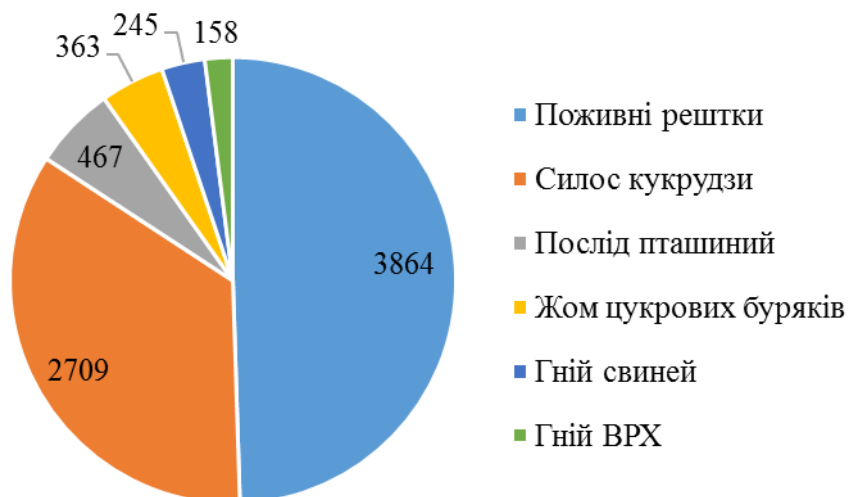


Рисунок 1.3 – Потенціал виробництва біометану в Україні за видами сировини у 2018 році, млн м³

Успішним прикладом є Neuhardenberg – біогазова установка з виробництва біометану, прийнята в експлуатацію у 2016 році. Тип біогазової установки: виробництво біометану – 350 м³/год; використання сировини – послід качок 40 т/д, силос кукурудзи – 40 т/д, рециркуляція після сепарації. Установка має 2 ферментатора Ø 30 м, 8 м висота, об'ємом 5654 м³; 2 резервуара для зберігання залишків бродіння Ø 35 м, 8 м висота, об'ємом 7697 м³. Сумарна місткість газгольдерів становить 12045 м³ біогазу.

Вартість проекту – 5,2 млн. євро без силосних траншей. Установлена мембранна технологія очищення біогазу (метану не менше 96 %) з наступним постачанням біометану в газотранспортну мережу. Вартість біометану становила 770 євро за 1000 м³.

1.3 Науково обґрунтовані та екологічно безпечні способи перетворення біогазу в біометан

Основним процесом у переробленні біогазу до якості біометану є відокремлення CH₄ та CO₂. На ринку є кілька технологій модернізації, які

використовуються та вдосконалюються протягом багатьох років. Основні з них наведені у Додатку В.

Звичайні методи модернізації біогазу можна класифікувати таким чином:

1. Мембранне розділення.

Методи розділення мембраною засновані на принципі, що гази дифундують через мембрани з різною швидкістю. Як мембрани можуть використовуватися різноманітні полімери.

Переваги методів розділення мембраною: мало рухомих деталей, надзвичайно міцна конструкція; доступність системи (майже) залежить лише від вентилятора стиснення; доступний модульний дизайн; можна адаптувати для менших об'ємних потоків.

Недоліки методів розділення мембраною: потреба в потужності від 0,18 до 0,33 кВт / год на м³ біогазу; втрати метану від 0,5 до 2 об. %; доцільний газовий пальник бажаний і в деяких країнах необхідний; лише обмежений практичний досвід для нових розробок.

2. Технології очищення (методи поглинання): очищення з допомогою води; фізичне очищення; хімічне очищення.

Методи фізичного очищення засновані на фізичній розчинності компонентів газу в промивному розчині без хімічної реакції.

Переваги очищення водою під тиском: процес зарекомендував себе на багатьох заводах протягом багатьох років; вода – нешкідливий, недорогий розчинник, який легко впорається; технічно це досить простий метод; зовнішнє джерело тепла не потрібно, і надлишок тепла може використовуватися.

Недоліки очищення водою під тиском: потреба в потужності від 0,2 до 0,3 кВт / год на м³ біогазу; тиск між 4–10 бар; втрати метану від 0,5 до 2 об.%; вода менш селективна, ніж інші розчинники; доцільний газовий пальник доцільний і в деяких країнах необхідний.

При фізичному очищенні також можна використовувати органічні розчинники замість води для очищення біогазу.

Переваги фізичного очищення органічними розчинниками: більша розчинність та більша завантаженість очищувальної рідини; потрібно менше поверхні, тому потрібен лише невеликий розмір установки; газ продукту сушать розчином гідрофобного очищення.

Недоліки фізичного очищення органічними розчинниками: потреба в потужності від 0,23 до 0,33 кВт/год на м³ біогазу; тепло необхідне для відновлення очищаючої рідини; розчинник не повинен потрапляти в навколишнє середовище; втрати метану від 1 до 4 об. %.

При хімічному очищенні деякі гази (наприклад, CO₂ і H₂S) оборотно реагують з промивною рідиною. Отже, зв'язуючий агент / розчин значно сильніше, ніж у випадку фізичного вичісування. В якості миючого засобу зазвичай використовують суміші води з добавками моноетаноламін (MEA), діетаноламін (DEA), метилдіетаноламін (MDEA) та інші аміносполуки.

Переваги хімічного очищення: низька потреба в потужності 0,06–0,17 кВт/м³ біогазу внаслідок експлуатації при атмосферному тиску; сильні сили зв'язування, тому велике навантаження очищувальної рідини; висока селективність, тому висока чистота метану (понад 99 об. %); низькі втрати метану (близько 0,1 об. %).

Недоліки хімічних очищувачів: енергоємна регенерація з високою тепловою потребою від 0,4 до 0,8 кВт · год на м³ біогазу; розчинник не повинен потрапляти в навколишнє середовище [1].

3. Адсорбція при перепаді тиском.

Адсорбційні методи засновані на принципі, що різні компоненти газу притягуються по-різному для визначення поверхностей (адсорбованих) або проникають в різній мірі в пори матеріалу.

Переваги адсорбції під тиском: багато референтних заводів і багаторічний досвід роботи; не використовуються розчинники; тепло для регенерації не потрібно.

Недоліки адсорбції під тиском: потреба в потужності від 0,15 до 0,35 кВт / год на м³ біогазу; втрати метану від 1,5 до 2,5 об. %; висока швидкість навантаження, утримання тиску та вивільнення колони вимагають дуже чітко налаштованого

зазору клапана. Отже, механічне навантаження на обладнання є відносно високим; потрібно запалити газовий пальник.

4. Кріогенне оброблення.

Кріогенна обробка базується на тому, що при низькій температурі або підвищеному тиску газу конденсуються (стають рідкими) або повторно сублімують (стають твердими). Наприклад, CO_2 повторно сублімується при $-78,5^\circ\text{C}$ на 1 бар, а CH_4 залишається газоподібним. Газові компоненти біогазу можуть відокремлюватися в різних станах речовини.

Перевагами кріогенної обробки є висока точність сепарації газових компонентів, висока чистота метану з низькими втратами, а також те, що CO_2 , який може бути отриманий у вигляді сухого льоду, можна переробляти та реалізовувати. Кріогенне лікування також вигідно, якщо біометан має бути зріджений, оскільки для цього біометан повинен бути дуже холодним.

Недоліком кріогенної обробки є енергія, необхідна для охолодження. Температуру газу знижують до $-78,5^\circ\text{C}$ або -150°C за допомогою комбінації зовнішнього охолодження (наприклад, у двигунах Стірлінга з електричним приводом) та природного охолодження (за рахунок зменшення тиску). Споживання енергії для цього процесу надзвичайно велике.

З цих 4 видів методів модернізації біогазу в біометан, показано ефективність використання та переваги і недоліки. Якщо порівняти ці методи між собою, то на наш погляд краще використовувати технічне очищення (метод поглинання). Оскільки ефективніше очищення біогазу та малі витрати на використання води як очисник [1].

РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика біометану

Біометан – це газ без кольору й запаху, мало розчинний у воді, але добре розчинний в органічних розчинниках; майже в два рази легший за повітря. У природі метан утворюється внаслідок гниття рослинних решток без доступу повітря, розкладу кам'яного вугілля під землею. У значній кількості він міститься в попутних газах нафтодобування та газах крекінгу нафтопродуктів, а також у газах, які виділяються при сухій перегонці дерева, торфу, кам'яного вугілля. Як основа природного газу (90–98 %) метан утворюється в надрах Землі, ймовірно внаслідок взаємодії розжарених карбідів металів з водяною парою. Біометан може використовуватися для всіх застосувань, де використовується природний газ [2].

Створення двигунів автотранспортних засобів, що працюють на газі з низькою теплою згоряння, як у біогазу, представляє труднощі. Тому доцільніше використовувати не біогаз, а одержуваний з нього біометан. Для цього з біогазу виділяють CO_2 і інші домішки. Одержуваний газ має однорідну сполуку, що містить 90–97% CH_4 з теплою згоряння 35–40 МДж/м³.

Є цілий ряд інших факторів, що сприяють переходу дедалі більшої кількості великовантажного транспорту на стиснений біометан. Використання біометану знижує споживання викопного палива, що може призвести до зниження викидів від викопного палива, наприклад, при зберіганні і утилізації відходів. Оцінки скорочення викидів ураховуються при оцінці життєвого циклу. Оцінка враховує виробництво палива (від поставки сировини до модернізації, включаючи проміжне транспортування біометана) і розподіл по газовій мережі. Щоб визначити потенціал біометану щодо зниження викидів ПГ, викиди ПГ порівнюються між біометаном і звичайним викопним паливом. У цілому, основними парниковими газами є метан (CH_4), карбон (IV) оксид (CO_2) і нітроген (I) оксид (N_2O) [11].

Між природним газом є тільки одне розходження: при згорянні останнього в атмосферу викидається точно така ж кількість CO_2 , що було з нього вилучено при переробці. Тому біогаз вважається абсолютно збалансованим біологічним паливом [7].

Економічні перспективи використання біометану такі:

- при однаковій витраті на 100 км шляху вартість газу в 2–3 рази нижче вартості бензину або дизельного палива;
- збільшується термін служби двигуна і моторного масла в 2 рази;
- робота двигуна на метані стає м'якше, ні в одному режимі немає детонації, октанове число газу – 110;
- збільшується термін служби свічок запалювання на 40 %;
- переклад автомобіля на стиснений газ не вимагає конструктивної переробки двигуна.

Екологічні фактори, які сприяють подальшого переходу на біометан:

- знижується токсичність відпрацьованих газів: окису вуглецю в 5–10 разів, вуглеводнів в 3 рази, оксиду азоту в 1,5–2,5 рази;
- рівень шуму працюючого двигуна знижується в 2 рази [8].

2.2 Методика розрахунку скорочення викидів парникових газів Англії

Біопаливо визначається як "чистий вуглецевий нуль" або "вуглецевий нейтральний", оскільки будь-який CO_2 , що виділяється при спалюванні палива, викликається абсорбентом CO_2 , сировиною, використовуваною для отримання палива під час росту. Тому всі прямі викиди біопалива, що містяться в наборі даних про коефіцієнти перетворення парникових газів складаються лише з викидів CH_4 та N_2O . На відміну від прямих викидів CO_2 , викиди CH_4 та N_2O не компенсуються адсорбцією у зростанні сировини, яка використовується для отримання біопалива. За відсутності іншої інформації ці коефіцієнти викидів вважаються еквівалентними

тим, які виробляються спалюванням відповідного викопного палива (тобто дизеля, бензину чи СПГ) з розділу "Паливо"[1].

Коефіцієнти непрямих викидів у життєвий цикл пального на біопаливо базувалися на середніх показниках Великобританії з квартального звіту (2017/2018) «Про зобов'язання з відновлюваного транспортного палива (RTFO)». Ці середні коефіцієнти та прямі фактори CH_4 та N_2O наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти перетворення ПГ у паливному циклі для біопалива

Життєвий цикл	Прямий CH_4	Прямий N_2O (Загальний життєвий цикл	Прямий CO_2
12,33	0,01	0,59	12,93	75,30
30,32	0,22	0,11	30,65	71,60
10,00	0,08	0,03	10,11	55,28
11,56	0,01	0,59	12,17	75,30
14,03	0,01	0,59	14,63	75,30

Чисті викиди ПГ для біопалива значно відрізняються залежно від джерела сировини та способу виробництва. Тому для точності рекомендується використовувати більш детальні / конкретні цифри, коли вони доступні. Наприклад, детальні непрямі коефіцієнти викидів / ВТТ за джерелом / постачальником постачаються та регулярно оновлюються у Квартальних звітах про RTFO, доступних від GOV [4].

У оновленнях 2015 року та більш ранніх даних використовували дані DfT з Гранту операторів автобусних перевезень (BSOG) у поєднанні зі статистикою fT автобусів D (км транспортного засобу, км пасажирів, середня кількість пасажирів) для оцінки коефіцієнтів викидів для місцевих автобусів. DfT містить дуже точні дані про загальну суму грошей, наданих операторам автобусних послуг за схемою, яка забезпечує фіксовану суму фінансової підтримки на одиницю спожитого палива. Таким чином, із цього можна обчислити загальну кількість споживаного палива (а отже, і викиди CO_2), що в поєднанні зі статистикою DfT щодо загальної кількості

транспортних засобів км, зайнятості автобусів та пасажирських км дозволяє розрахувати коефіцієнти викидів [4].

Починаючи з оновлення 2016 року, слід було внести деякі методологічні зміни в розрахунки через зміни в області застосування (покриття базових наборів даних DfT), які включають:

а) набори даних BSOG тепер доступні лише для комерційних послуг, а не для послуги, що підтримуються місцевою владою;

б) набори даних BSOG тепер доступні лише для Англії, за межами Лондона: тобто набори даних більше не доступні для Лондона через різницю в тому, як керуються / забезпечуються фінансування міста, а також для інших частин Великобританії.

У таблиці 2.2 наведено резюме коефіцієнтів конверсії ПГ 2019 року та середньої кількості пасажирів. Необхідно також зазначити, що коефіцієнти споживання палива та викиди для окремих операторів та послуг істотно відрізнятимуться залежно від місцевих умов, конкретних транспортних засобів, що використовуються, та типової досяжності [1].

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти викидів для автобусів для 2019 коефіцієнтів перерахунку викидів парникових газів

Тип автобуса	Середня кількість пасажирів	гCO ₂ на 1 пасажир за км			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Місцевий автобус (не Лондон)	9,57	119,74	0,03	0,99	120,76
Місцевий лондонський автобус	20,15	81,63	0,01	0,44	82,08
Середній місцевий транспорт	12,24	103,91	0,03	0,77	104,71
Автобус	17,56	27,28	0,02	0,49	27,79

2.3 Методика розрахунку викидів ПГ на основі оцінки життєвого циклу

Викиди парникових газів розраховують за повний життєвий цикл (ЖЦ) палива, а саме: викиди від вирощування сировини (в основному, від застосування добрив); викиди в результаті зміни землекористування (переведення випасних земель в орні); викиди від переробки сировини та виробництва палива (від використання енергії при виробництві); викиди від транспортування та розподілу до споживача (від використання пального).

Викиди від власне використання біопалива вважаються нульовими. Також враховуються методи додаткового скорочення викидів ПГ, а саме: накопичення вуглецю в землі, вловлювання та геологічне захоронення вуглецю, вловлювання та заміщення вуглецю, а також скорочення внаслідок виробництва електроенергії при когенерації.

Викиди парникових газів в результаті видобутку та використання транспортного палива, біопалива та біопаливних рідин обчислюються відповідно до формули:

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee}, \quad (2.1)$$

де E – Загальне значення викидів в результаті використання палива; e_{ec} – викиди в результаті видобування або вирощування сировини; e_l – розраховані на річній основі викиди внаслідок змін у запасах вуглецю, спричинених змінами у використанні земель; e_p – викиди внаслідок переробки; e_{td} – викиди внаслідок транспортування та розподілу; e_u – викиди внаслідок застосовуваного палива; e_{sca} – скорочення викидів, спричинених накопиченням вуглецю в ґрунті, завдяки кращому сільськогосподарському управлінню; e_{ccs} – скорочення викидів, спричинених уловлюванням та підземним зберіганням вуглецю; e_{ccr} – скорочення викидів, спричинених уловлюванням та заміною вуглецю; e_{ee} – скорочення викидів, спричинених надмірним виробництвом електроенергії в рамках спільного виробництва електричної та теплової енергії.

Викиди в результаті виготовлення машин та обладнання не враховуються.

Скорочення викидів парникових газів завдяки біопаливу та біорідинам розраховується за формулою:

$$\text{СКОРОЧЕННЯ} = (E_F - E_B) / E_F, \quad (2.2)$$

де E_B – загальний обсяг викидів для біопалива чи біоридин, та E_F – загальний обсяг викидів для традиційного викопного палива, що використовується як базове значення для порівняння.

Більше детально приклад схеми розрахунку показників скорочень викидів ПГ в результаті використання біопалива наведено на рис. Г.2 (Додаток Г).

В одному переліку із схемами сертифікації знаходиться інструмент для гармонізованих розрахунків викидів парникових газів від біопалива, BioGrace, але цей інструмент охоплює тільки сферу скорочення парникових газів. BioGrace є інструментом для розрахунків викидів ПГ, що має на меті гармонізувати різні методології та вихідні дані, що використовуються для впровадження ДВДЕ. Цей інструмент також є визнаним Європейською комісією як часткова схема виконання ДВДЕ. BioGrace спільно управляють кілька наукових інституцій та регуляторних органів країн-членів ЄС. Він фінансується Європейською комісією.

Найбільш доступним та мало витратним методом обчислення впливу біопалива, біопаливних рідин та референтного викопного палива на ПГ є використання для обчислення значень за замовчуванням, які не потребують додаткового обґрунтування, особливого розрахункового інструменту та наведені безпосередньо у Додатку V ДВДЕ. Результати таких обчислень приймаються, як релевантні в країнах ЄС, та можуть бути використані у національному звіті України щодо використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії, зокрема, у транспорті.

РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРУ

3.1 Біогаз, як перспектива покращення транспортного сектора

Транспортні засоби, що працюють на стисненому природному газі (СПГ) або скрапленому природному газі (СкПГ), відіграють важливу роль у розвитку екологічно чистого транспортного сектора. Вклад у заощадження викидів парникових газів, коли транспортні засоби використовують біометан, досягає 70–90 % у порівнянні зі звичайним автомобілем, що працює на бензині (Додаток Д).

Загальний слід вуглецю дуже низький у порівнянні з його викопними еквівалентами. Основною перевагою використання біометану в якості палива, крім захисту навколишнього середовища, є економія – споживачам дешевше використовувати біометан або СПГ, ніж бензин або дизель, залежно від податкового режиму. Однак цей аспект все ж слід висвітлити на автозаправних станціях, де природний газ зараз продається за кілограм, тоді як інші види палива продаються за літр, що робить споживачам важке порівняння цін.

Результати показують [11], що біометан забезпечує значне скорочення викидів парникових газів. Поточні викиди ПГ з бензином та дизелем оцінюються відповідно в 164-156 г CO₂-екв. / км. Природний газ, що використовується як альтернативне паливо, викидає 124 г CO₂-екв. / км, що еквівалентно зниженню на 24% у порівнянні з бензином. Викиди ПГ від використання біометану залежать від виду сировини. З біометаном, виробленим із таких культур, як кукурудза, викиди ПГ дорівнюють 66 г CO₂-екв. / км, більше половини яких представлено вирощуванням та збиранням (використанням добрива) сировини та 28 % за рахунок модернізації. Викиди ПГ можуть бути зменшені приблизно на 60 % у порівнянні з бензином. Гній зменшує викиди ПГ приблизно на 80 % у порівнянні з бензином. Виробництво біометану з побутових відходів та його використання в якості пального для автомобілів дають економію парникових газів на 73 % у порівнянні зі стандартним компаратором для

викопного палива 83,8 г CO₂-екв. / млн. Дж. Це дорівнює скороченню викидів парникових газів на пробіжений км приблизно на 70 % у порівнянні з легковою машиною, що працює на бензині [11].

Для зменшення викидів ПГ від виробництва біометану потрібно прийняти такі рішення:

- повторне використання дігестату як добрив;
- використання інгібітора азоту, щоб уповільнити нітрифікацію, що є джерелом N₂O як ПГ, який, як правило, вивільняється під час зберігання осаду та розповсюдження в якості добрива;
- максимально зменшити відстань транспортування сировини;
- встановити вимірювальну апаратуру для втрат метану в анаеробній системі зброджування [11].

Зміни клімату можна пом'якшити через декарбонізацію транспортного сектору. Цей процес потрібно оцінити, враховуючи WTW викиди парникових газів (ПГ), комбінацію виробництва та розподілу палива (WTT), а також викиди, що утворюються при спалюванні палива на транспортних засобах (TTW). У цій перспективі відновлюваний газ є сильним прискорювачем карбон-незалежної мобільності.

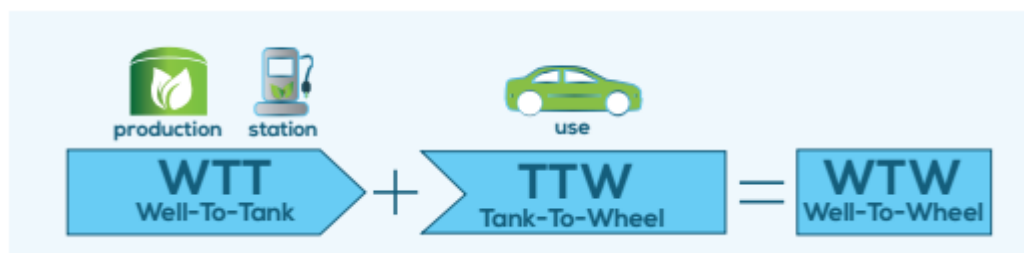


Рисунок 3.1 – концепція скорочення викидів ПГ при використанні біометану

Переорієнтуючи 13,2 мільйона звичайних транспортних засобів на природний газ, викиди ПГВ WTW будуть зменшені з 96 млн. тон до 52 млн. тон при 30 % відновлюваному газі в суміші ЄС. При використанні 80 % поновлюваних газів може бути реалізована нейтральність вуглецю.

У 2015 році квота на біопаливо в Німеччині була замінена цільовою ціною заощадження з метою реалізації того, що називається "стратегією декарбонізації" ЄС.

Починаючи з 2015 року, щорічно необхідно скоротити на 3,5% парникові гази, що виділяються за рахунок споживання палива, при цьому необхідна щорічна економія зросте до 6 % до 2020 року. Використання біопалива пропонує спосіб досягти цього скорочення.

Необхідно враховувати фактичний потенціал скорочення парникових газів у розглянутому паливі з біомаси. Потенціал скорочення парникових газів щодо звичайних видів палива визначений Директивою з відновлюваної енергії (RED).

З 1 січня 2017 року мінімальне зниження викидів CO₂ біопалива порівняно з викопним еквівалентом становить 50 %, а з 1 січня 2018 року скорочення становитиме 60 %. Домішка біометану відкриває нове джерело доходу постачальникам енергоносіїв, які працюють на заправках із природного газу. Отриману квоту на біопаливо можна продати компаніям з мінеральних масел, які тим самим можуть виконати свій зобов'язання щодо змішування біопалива.

Сектор біопалива виступає за збільшення рівня домішок відновлюваних джерел енергії, оскільки це суттєво сприятиме зменшенню викидів парникових газів та просуванню біометану в паливному секторі. Використовуваний біометан також підпадає під дію інших критеріїв стійкості, які регулюються Директивою з відновлюваної енергетики в Європі та були переведені у національне законодавство через Постанову про стійкість біопалива в Німеччині. Згідно з цією директивою, корми не повинні походити з районів з високим біорізноманіттям, заповідних територій або з високим вмістом вуглецю, наприклад, з тропічних лісів, болотів чи постійних пасовищ. Обробіток ріллі та пасовищ також повинен відповідати тому, що називається "хорошою професійною практикою". В Європі це базується на вимогах, визначених в крос-дотриманні. Тут визначаються правила щодо використання добрив, періоду внесення добрив, обробки ґрунтів тощо. Перш за все, існують критерії стійкості для забезпечення збереження ґрунтів та поживних

речовин, уникнення ерозії та забруднення ґрунтових вод та забезпечення того, що біопаливо фактично допомагає зменшити парникові гази [1].

3.2 Розрахунок скорочення викидів ПГ при переході на біометан

Величина викиду шкідливих речовин з відпрацьованими газами залежить від багатьох факторів: процеси підготовки і згоряння суміші, режиму роботи двигуна, його технічного стану, якості палива. Ці токсичні гази утворюються при спалюванні палива двигунами внутрішнього згоряння (як з іскровим запалюванням, так дизельних), таким чином кількість токсичних викидів напряму залежить від спожитого двигуном палива [9].

Таблиця 3.1 – Викид токсичних компонентів відпрацьованих газів на 1 кг палива, з урахуванням середньої величини коефіцієнта надлишку повітря ($\alpha=1,0$)

Компонент	Вид палива	
	Бензин, г	Біогаз, г
Карбон (II) оксид	400–465	20
Вуглеводні	20–23,1	4,2
Нітроген оксиди	14–15,2	18,1
Ангідрид сульфатної кислоти	2	7,8
Альдегіди	1	0,7
Сажа	1	5
Свинець	0,5	0
Всього	508	51

За таблицею 3.1 бачимо значне зменшення сумарних токсичних компонентів біогазу, у порівнянні з бензином, яке використовується в транспортному секторі. Викиди біогазу складають 51 г/кг палива, а бензину 508 г/кг, що показує на скорочення можливих викидів вихлопних газів в автотранспорті.

Оцінка обсягів скорочення викидів парникових газів у результаті заміщення біогазом викопних видів енергетичних ресурсів (вугілля, газу) в когенераційних

установках здійснювалася відповідно до методики, що використовується в національній інвентаризації викидів ПГ. Відповідно застосовувалися коефіцієнти викидів ПГ, що наведені в Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів за 1990–2015 рр., який відповідає Керівним принципам національних інвентаризацій парникових газів МГЕЗК, 2006.

У середньо статистичному місті України, де населення 300–400 тис. осіб, кількість міського транспорту становить 328 автобусів, які використовують дизельного палива. Якщо запропонувати, щоб міський транспорт перейшов на біогаз. Потрібно розглянути економічну та екологічну стан даної ситуації.

Ціна дизельного палива складає $0,902 \text{ євро} / \text{м}^3 = 24,29 \text{ грн} / \text{м}^3$, а ціна біометану в Україні складає $0,77 \text{ євро} / \text{м}^3 = 13,62 \text{ грн} / \text{м}^3$. Звичайний міський транспорт використовує близько 20 літрів у день.

У салоні міського транспорту фірми «Богдан» є 21 сидяче місто і близько 25 стоячих. Як мінімум можна взяти, що за один рейс автобус перевозить 30–40 пасажирів.

Отже, дизельного палива в день одна одиниця міського транспорту використовує 20 л, беремо кількість транспорту в місті, та розраховуємо кількість спожитого палива $328 \cdot 20 = 656 \text{ л}$. Густина дизельного палива становить $840 \text{ кг} / \text{м}^3$. Тобто маса 1 л дизельного палива становить $0,001 \text{ м}^3 \cdot 0,84 \text{ т} / \text{м}^3 = 0,00084 \text{ тони}$.

На міський транспорт $0,656 \text{ м}^3 \cdot 0,84 \text{ т} / \text{м}^3 = 0,55104 \text{ тони} = 551,04 \text{ кг}$.

Також відомо, що тільки 15 % витрачається на рух автомобіля, а 85% «летить на вітер». Тобто з кількості всього використаного дизельного палива 468,384 кг викидається в повітря.

Припустимо, що при заміні дизельного палива на біометан, кількість використаного палива така ж сама, тобто 20 л / шт, що для всього міста становить 656 л. Густина біометану становить $0,72 \text{ кг} / \text{м}^3$. Тобто маса 1 л біометану становить $0,001 \text{ м}^3 \cdot 0,72 \text{ кг} / \text{м}^3 = 0,00072 \text{ тони}$.

На весь міський транспорт на день використовується $0,656 \text{ м}^3 \cdot 0,72 \text{ кг} / \text{м}^3 = 0,47232 \text{ кг} = 0,000472 \text{ т}$.

При використанні дизельного палива викидаються в атмосферу такі забруднюючі речовини, на 1 тону спалюваного палива: карбон (II) оксид (36,2 кг/т), нітроген (IV) оксид (31,4 кг/т), сульфур (IV) оксид (4,3 кг/т), метан (0,083 кг/т), нітроген (II) оксид (0,165 кг/т) та вуглекислий газ (3138 кг/т).

Маса викидів на весь міський транспорт за 1 день у результаті спалювання дизельного палива складають:

- карбон (II) оксид: $36,2 \text{ кг/т} \cdot 0,468384 \text{ т} = 16,96 \text{ кг}$;
- нітроген (IV) оксид: $31,4 \text{ кг/т} \cdot 0,468384 \text{ т} = 14,71 \text{ кг}$;
- сульфур (IV) оксид: $4,3 \text{ кг/т} \cdot 0,468384 \text{ т} = 2,01 \text{ кг}$;
- метан: $0,083 \text{ кг/т} \cdot 0,468384 \text{ т} = 0,039 \text{ кг}$;
- нітроген (II) оксид: $0,165 \text{ кг/т} \cdot 0,468384 \text{ т} = 0,077 \text{ кг}$;
- вуглекислий газ: $3138 \text{ кг/т} \cdot 0,468384 \text{ т} = 78899 \text{ кг}$.

Застосування біометану замість дизельного палива дає різке зниження концентрації та маси викидів шкідливих речовин у вихлопних газів автобуса. Екологічні характеристики біометану ефективніше на 75 % у порівнянні з дизельним паливом.

При використанні біометану як палива в атмосферу викидаються такі парникові гази, які у порівнянні з дизельним паливом менші: карбон (II) оксиду в 5 – 10 разів, вуглеводнів у 3 рази, нітроген (II) оксиду в 1,5 – 2,5 рази. Тільки вуглекислого газу виділяється така ж кількість, як при використанні природного газу.

Тобто, карбон (II) оксид близько 5,2 кг / т, нітроген (II) оксиду 0,0826 кг / т, а вуглеводнів 1,4 кг / т. При використанні біометану як палива на весь міський транспорт маса викидів складають:

- карбон (II) оксиду $5,2 \text{ кг / т} \cdot 0,000472 \text{ т} = 0,00245 \text{ кг}$;
- нітроген (II) оксиду $0,0826 \text{ кг / т} \cdot 0,00245 \text{ т} = 0,000202 \text{ кг}$;
- вуглеводні $1,4 \text{ кг / т} \cdot 0,000472 \text{ т} = 0,000661 \text{ кг}$.

З даних розрахунків бачимо, що при використанні біометану як палива на міський транспорт, кількість вихлопних газів набагато менша. І доцільно міському транспорту перейти на більш екологічний вид палива, оскільки покращиться стан навколишнього середовища та більш економічно вигідно для міста.

ВИСНОВКИ

Транспорт є великою проблемою в багатьох країнах, які намагаються скоротити викиди в цьому секторі. Крім того, багато країн залежать від імпорту викопних палив.

У цьому випадку пропонується заміна звичайного палива на біогаз, що виробляється на місцевому рівні, може запропонувати рішення для декарбонізації транспортного сектору. Щоб зробити це стійким, використання біометану повинно підтримуватися за допомогою стимулів, що враховують зовнішні фактори, такі як вплив на навколишнє середовище.

При використанні такого виду палива для автомобільного транспорту як біогаз, є доцільним з багатьох причин:

—у якості сировини для отримання палива не використовують дефіцитні невідновлювані види (нафта, вугілля);

—виробництво біогазу дозволяє запобігти викидам метану в атмосферу, а метан впливає на парниковий ефект в 21 раз більш сильно, ніж CO_2 , і перебуває в атмосфері 12 років. Уловлювання метану – кращий короткостроковий спосіб запобігання глобального потепління.

—фізико-хімічні й екологічні властивості очищення біогазу в біометан та розрахунок методів скорочення парникових газів.

Біогаз, як перспектива в транспортному секторі та розрахунок скорочення викидів парникових газів при переході з дизельного палива на біометан.

За результатами розрахунків порівняння обсягів викидів парникових газів при використанні дизельного палива та можливості переходу на біометан як паливо встановлено, що скорочення викидів при використанні біометану становить для карбон (II) оксиду в 5 – 10 разів, вуглеводнів у 3 рази, нітроген (II) оксиду в 1,5 – 2,5 рази.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Horst Seide, Philippe Scholtès, Dr Jan Štambaský, Dr Gerald Linke. Biogas to biomethane. 68 p.
2. Державна служба статистики України. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2008/452/metod.htm
3. Степаненко Д.С., Проскурня Т.О. Використання альтернативних видів палива для автомобілів [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/PTDAU/PTDAU2009_v9_t5/PTDAU2009_v9_t5_154-162.pdf
4. Horst Seide, Dr Christoph Beier, Antonis Mavropouls, Gaurav Kumar Kedia Biowaste to biogas. July 2019. 68 p.
5. Приміський І. В. Нормування викидів відпрацьованих газів автомобілів та перехід до стандартів євро. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. С. 43–48.
6. Трипольська Г.С., Дячук О. А., Подолець Р. З., Чепелев М. Г. Біогазові проекти в Україні: перспективи, наслідки та регуляторна політика. *Екон. прогнозування*. 2018. №2. С. 111–134.
7. Гюльцов. Біоенергія. Основні дані : спеціальне агентство з питань відновлюваних ресурсів (FNR) Хофплац 1. 7 с.
8. Биометан в Украине. Производство или ждать лучших времен. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://bio-gas.com.ua/biometan/>
9. Нестеренко А. Біогазові технології як реальна альтернатива природного газу та шлях до енергетичної незалежності. 23.11.2017. м. Київ. 17 с.
10. Гелетуха Г. Стан та перспектива розвитку біоенергетики в Україні.
11. IRENA (2018), Biogas for road vehicles: Technology brief, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

ДОДАТКИ

Додаток А

Опис процесу виробництва та використання біогазу та біометану

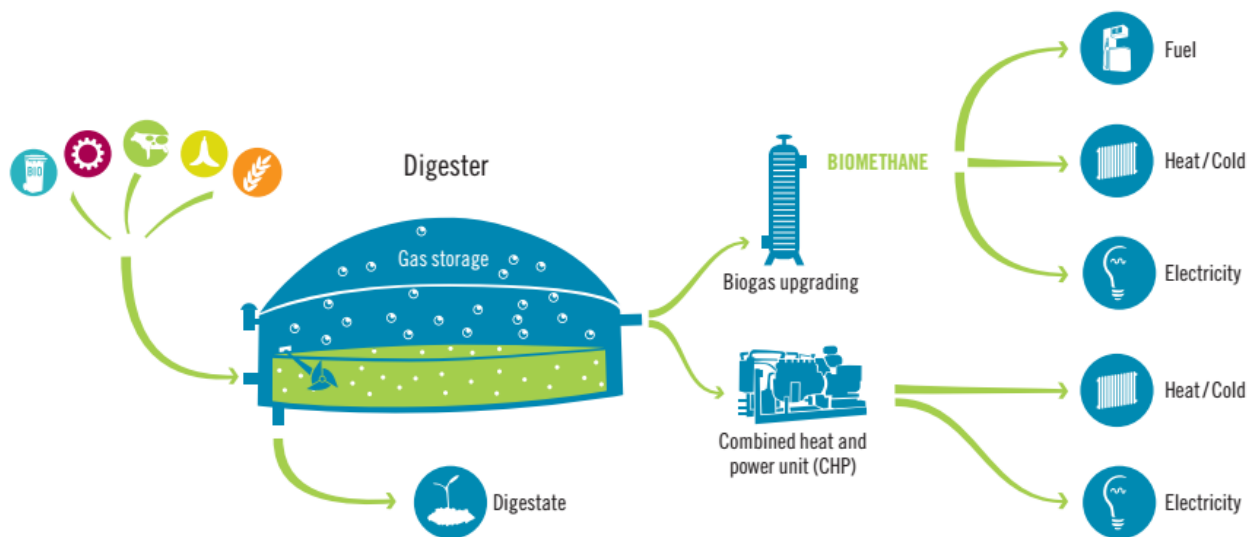


Рисунок А.1 – Схема процесу виробництва та використання біогазу та біометану

Додаток Б

Принцип роботи біогазових установок

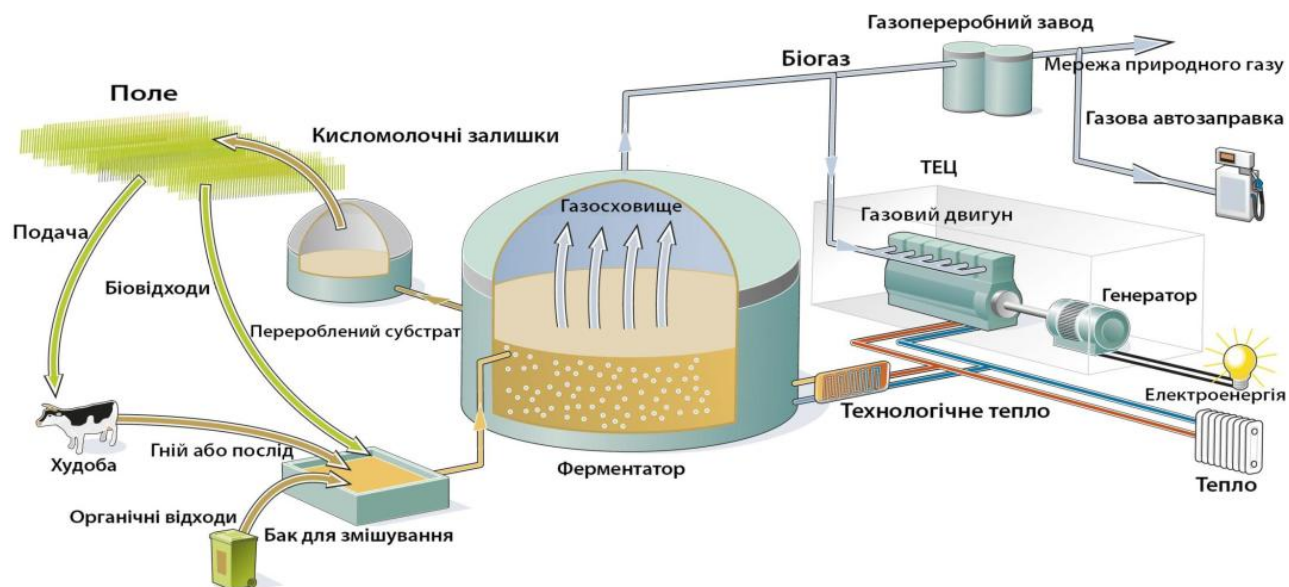


Рисунок Б.1 – Схема роботи біогазових установок

Додаток В

Методи переробки біогазу в біометан

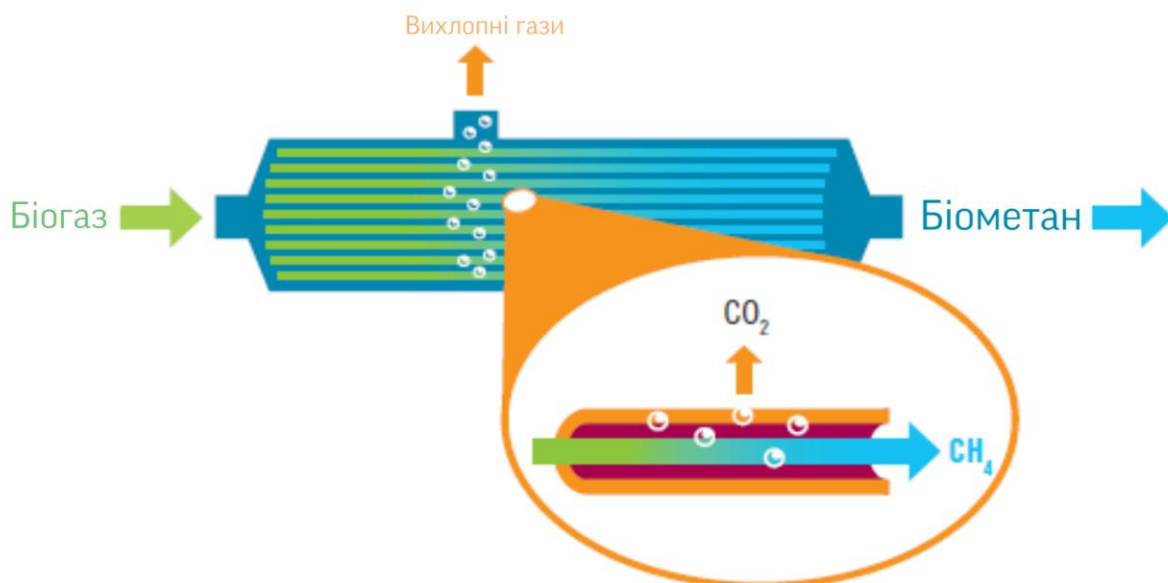


Рисунок В.1 – Фізичний і технічний принципи мембранної сепарації

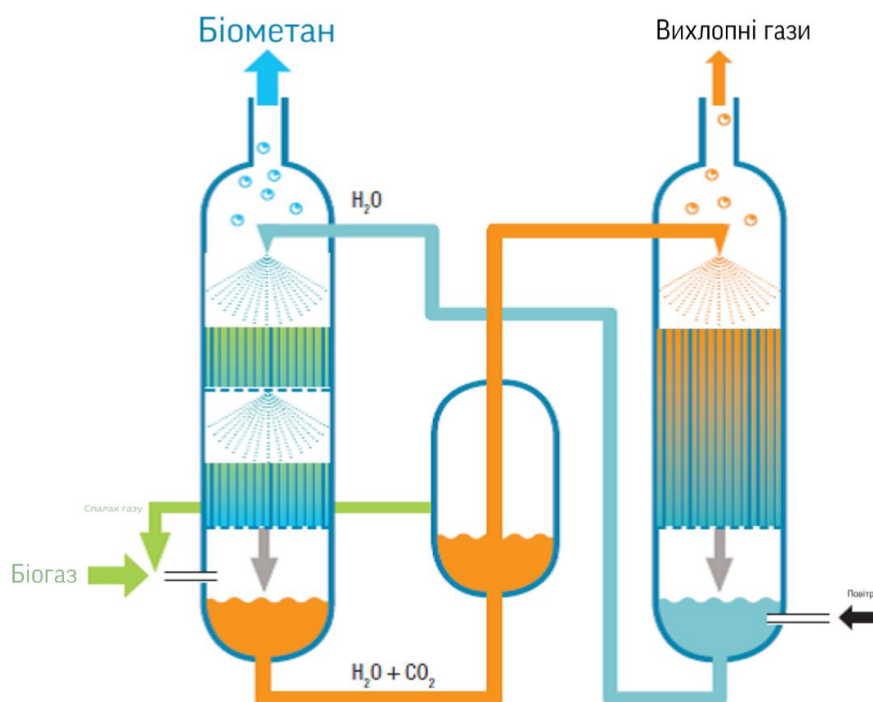


Рисунок В.2 – Технологічна схема скрубєрних технологій

Продовження Додатку В

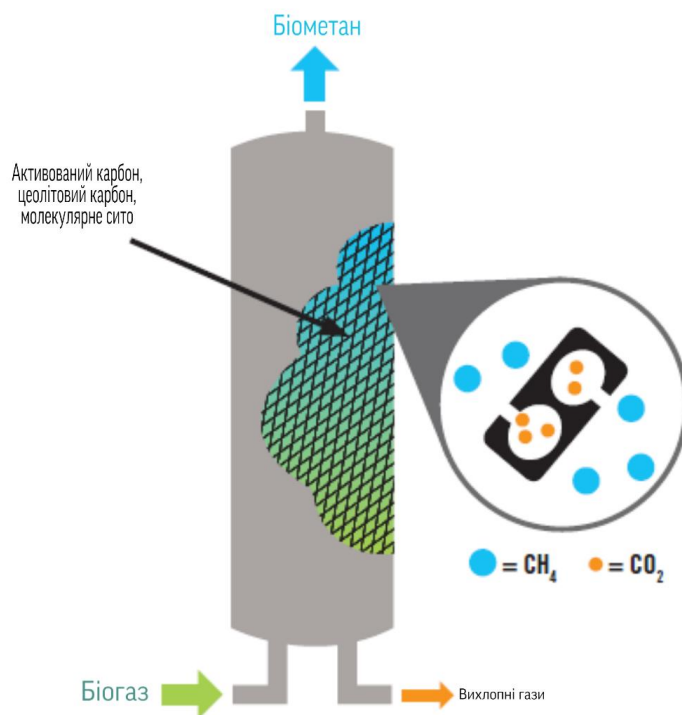


Рисунок В.3 – Фізичний і технічний принципи адсорбції при перепаді тиску

Додаток Г

Критерії стабільності (сталості) виробництва біомаси в країнах ЄС



Рисунок Г.1 – Скорочення викидів парникових газів від біопалива згідно критеріям сталості (стабільності)

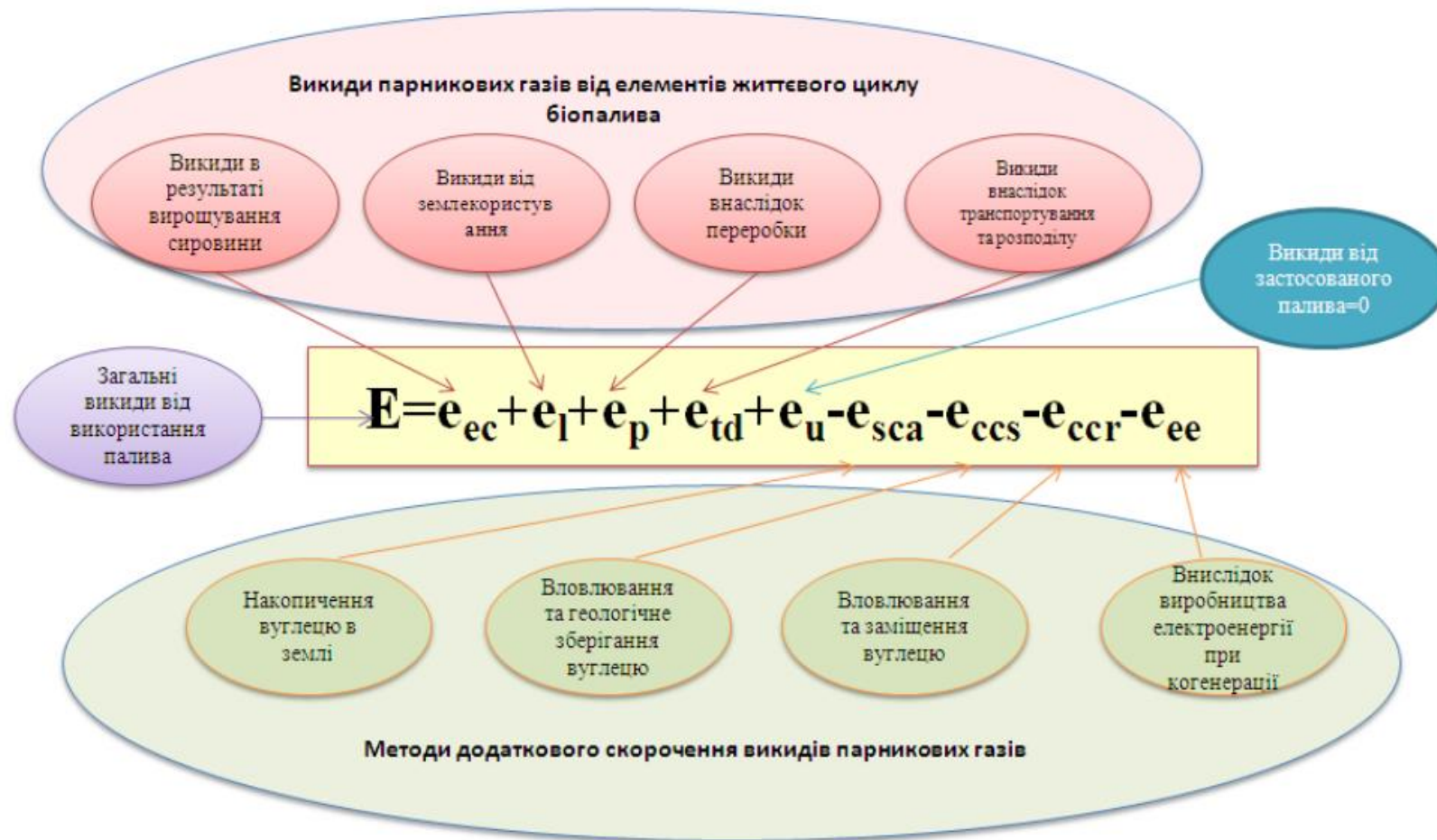


Рисунок Г.2 – Формула розрахунку викидів ПГ від біопалива та біопаливних рідин

Додаток Д

Викиди парникових газів від спалювання різних видів палива у двигунах автомобілів

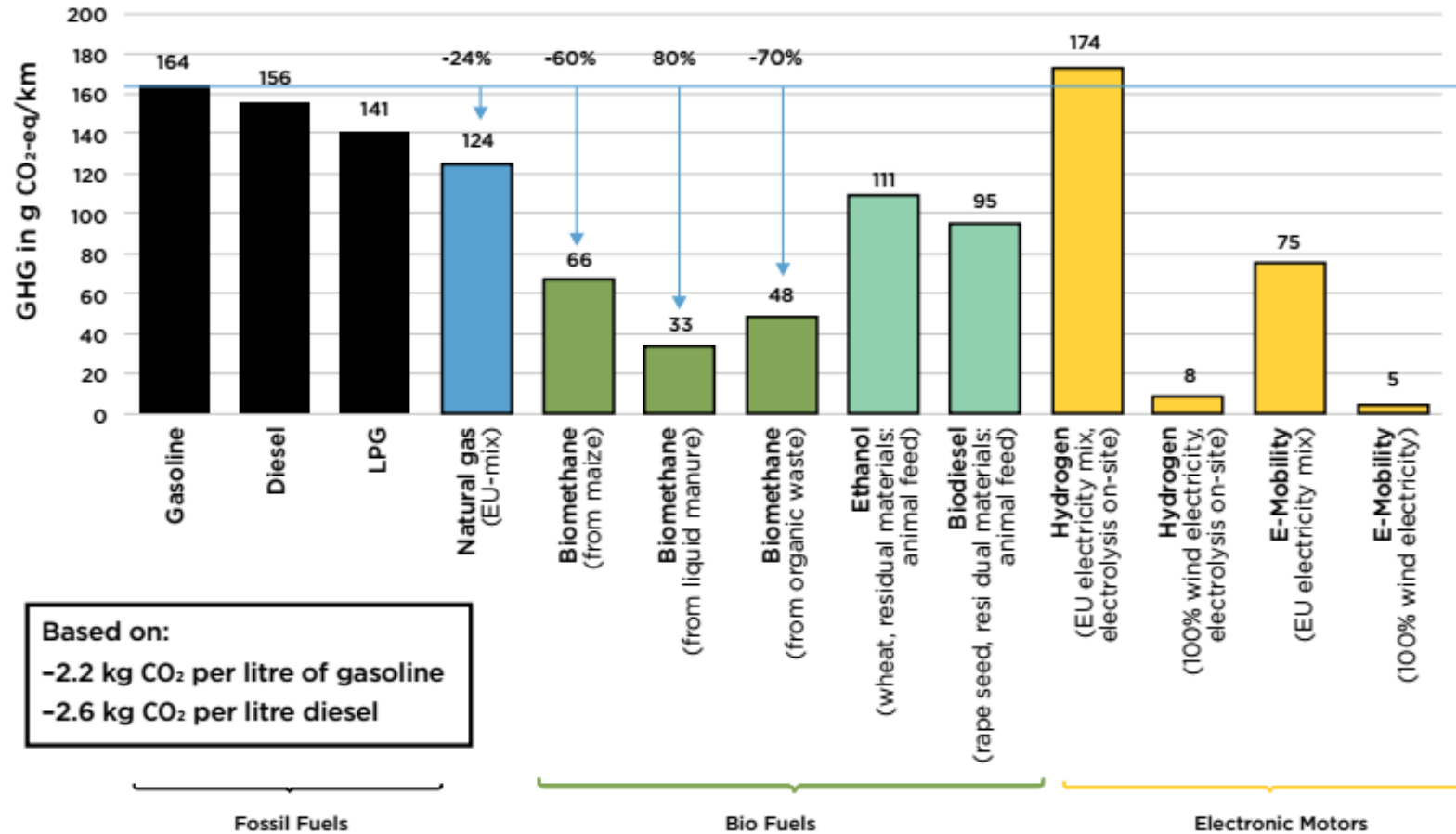


Рисунок Д.1 – Порівняльні викиди ПГ від легкових автомобілів, що працюють на різних видах палива

