

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра інженерної екології
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК: 628.477.6

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Ткачук К.К.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 101 «Екологія», «Інженерна екологія та
ресурсозбереження»

на тему: «Дослідження можливостей зниження забруднення атмосферного
повітря вихлопними газами автомобільних двигунів »

Виконала: студентка 2 курсу, групи ОЗ-81мп
(шифр групи)

_____ Лазарук Катерина Олексіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник проф., д.пед.н., к.хім.н. Кофанова О.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант стартап-проекту доц., к.т.н. Шевчук Н.А.
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент доц., д.т.н., проф.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва)

Кафедра Інженерної екології
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 101 Екологія
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 _____ Ткачук К.К.
(підпис) (прізвище, ініціали)
 «__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Лазарук Катерині Олексіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Дослідження можливостей зниження забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автомобільних двигунів»,
 науковий керівник дисертації Кофанова О.В., д.пед.н., к.хім.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом по університету від «04» листопада 2019 р. № 3814-с
2. Строк подання студентом дисертації 10 грудня 2019 р.
3. Об'єкт дослідження вплив добавок спиртових сполук до бензину (на прикладі біобутанолу) на показники роботи ДВЗ і КТЗ
4. Предмет дослідження екологічні, енергетичні показники та енергоефективність ДВЗ і КТЗ при використанні сумішевого бензину з добавками спиртових сполук (на прикладі біобутанолу).
5. Перелік завдань, які потрібно розробити аналіз існуючих видів альтернативних палив і теоретичне дослідження властивостей та придатності до застосування в

автомобільних ДВЗ, екологічних показників автомобілів при використанні альтернативних палив, проведення теоретичного дослідження впливу спиртових добавок до бензину на показники роботи ДВЗ, удосконалення методики визначення показників ДВЗ для оцінювання впливу добавок спиртових сполук до бензину на екологічні, енергетичні показники та енергоефективність КТЗ.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Технологічна схема виробництва біобутанолу; принципова схема розділення суміші за допомогою неонних поверхневоактивних речовин; графіки-залежності зміни показників сумішевого бензину від вмісту біобутанолу.

7. Орієнтовний перелік публікацій стаття у збірнику матеріалів II Науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Репін Микола Володимирович		
Стартап-проект	Шевчук Наталія Анатоліївна		

9. Дата видачі завдання: «02» вересня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд існуючих способів поводження з волокнистим скопом	02.09.2019 – 18.09.2019	виконано
2	Аналіз складу, властивостей та характеристик волокнистого скопу	19.09.2019 – 24.09.2019	виконано
3	Обґрунтування вибору скріплювальних сполук для паперової плити	25.09.2019 – 03.10.2019	виконано
4	Розроблення концепції екологічно прийнятної паперової плити з волокнистого скопу	04.10.2019 – 28.10.2019	виконано
5	Встановлення та опис залежностей фізико-механічних параметрів зразків плит від їх складу, притискового зусилля та інших параметрів	29.10.2019 – 23.11.2019	виконано
6	Розроблення стартап-проекту	24.11.2019 – 02.12.2019	виконано

Студент

(підпис)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Лазарук К.О.
(прізвище, ініціали)

Кофанова О.В.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Атестаційна магістерська робота на тему “Дослідження можливостей зниження забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автомобільних двигунів” складається із 86 сторінок, 48 таблиць, 13 рисунків, 48 використаних джерел.

Мета магістерської дисертації – визначення можливостей зниження забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автомобільних двигунів за рахунок розширення паливної бази автомобільного транспорту та поліпшення екологічних показників КТЗ шляхом застосування альтернативних палив, зокрема добавок біобутанолу до бензину.

Об'єкт дослідження – вплив добавок спиртових сполук до бензину (на прикладі біобутанолу) на показники роботи ДВЗ і КТЗ.

В результаті виконання роботи проаналізовано існуючі види альтернативних палив і теоретично досліджено їх властивості та придатність до застосування в автомобільних ДВЗ, екологічні показники автомобілів при використанні альтернативних палив. Запропоновано новий спосіб виділення біобутанолу із культуральної рідини, який здійснюється без підведення теплової енергії до збродженого середовища, тобто без дистиляції.

Проведено розрахункове дослідження впливу добавок біобутанолу до бензину на екологічні, енергетичні показники та енергоефективність КТЗ.

**ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, КОЛІСНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ВИХЛОПНІ ГАЗИ, БІОБУТАНОЛ, СУМІШЕВИЙ
БЕНЗИН**

ABSTRACT

Attestation master's degree work on the theme of “Research of possibilities of decline of contamination of atmospheric air by exhaust gases of motor-car engines is folded with 48 pages, 12 tables, 13 images, 48 used sources.

Research object – study of influencing of additions of alcoholic connections to the petrol (on the example of bioethanol) on the indexes of work CE and WVT.

Purpose of work – research of possibilities of decline of contamination of atmospheric air by exhaust gases of motor-car engines due to expansion of fuel base of motor transport and improvement of ecological indexes WVT by application of alternative fuels, and in particular additions of bioethanol to the petrol.

As a result of implementation of work was analyzed existent types of alternative fuels and their properties and fitness are in a theory explored to application in motor-car CE, ecological metrics of cars at the use of alternative fuels. A new method of separation of bioethanol from the culture fluid is proposed, which is carried out without supplying heat to the fermented medium, ie without distillation. Computation research of influencing of additions of bioethanol is conducted to the petrol on ecological, power indexes and energy efficiency WVT.

COMBUSTION ENGINE, WHEELED VEHICLE TRANSPORT, EXHAUST GASES, BIOETHANOL, SOUMISHEVIY PETROL

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ І УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ РОЗШИРЕННЯ ПАЛИВНОЇ БАЗИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	13
1.1 Актуальність проблеми використання альтернативних палив автотранспортом	13
1.2 Аналіз альтернативних палив для автомобілів	19
1.3 Газоподібні палива – замітники палив нафтового походження	24
1.4 Використання біопалив, отриманих з відновлюваних ресурсів.....	29
Висновки до розділу 1	42
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СПИРТОВИХ ДОБАВОК ДО ПАЛИВ НАФТОВОГО ПОХОДЖЕННЯ ЯК ОДИН З НАПРЯМІВ РОЗШИРЕННЯ ПАЛИВНОЇ БАЗИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ І ЗНИЖЕННЯ ЙОГО НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	44
2.1 Аналіз результатів застосування спиртових добавок до дизельного палива	44
2.2 Дослідження можливості використання спиртових добавок до бензинів	48
Висновки до розділу 2.....	58
3 РОЗРОБКА НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МЕНШ ЗАТРАТНОГО ВИРОБНИЦТВА БІОБУТАНОЛУ, УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДДІЛЕННЯ КУЛЬТУРАЛЬНОЇ РІДИНИ ВІД БУТАНОЛУ	60
3.1 Аналіз актуальності виробництва біобутанолу в Україні та технологій його отримання	60
3.2 Модернізація схеми виробництва біобутанолу.....	61
3.3 Результати розрахункового дослідження впливу величини добавки спиртових сполук до бензину на показники роботи двигуна	65
Висновки до розділу 3	71
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	72
4.1 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту.	72
4.2 Аналіз конкурентного середовища.....	73
4.3 Ключові види діяльності та ключові партнери.....	74
4.4 Витрати на оплату праці.....	76
4.5 Цільові групи потенційних клієнтів.....	77

4.6 Канали збуту.....	78
4.7 Бізнес-модель проекту.....	78
Висновки до розділу 4.....	79
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ І УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДП «ДержавтотрансНДІпроект» – Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (м. Київ);

НТУ – Національний транспортний університет (м. Київ);

ДП „УкрНДІНП „Масма” – Державне підприємство „Український науково- і дослідний інститут нафтопереробної промисловості „Масма” (м.Київ);

ДП „УкрНДІспиртбіопрод” – Державне підприємство „Український науково-дослідний інститут спирту і біотехнології продовольчих продуктів” (м.Київ);

біоетанол – спирт етиловий зневоднений, виготовлений з біологічно відновлюваної сировини. Колишня назва – високооктанова кисневмісна добавка (ВКД);

біопаливо – рідке або газове моторне паливо, виготовлене з біомаси;

біомаса – здатні до біорозкладу продукти та відходи сільського господарства (рослинного і тваринного походження), лісництва, промислові і міські відходи;

КТЗ – колісний транспортний засіб – безрейковий наземний транспортний засіб, який взаємодіє з опорною поверхнею дороги за допомогою коліс (термін застосований в Женевській Угоді 1958 р. і Правилах ЄЕК ООН);

ВГ – вихлопні гази;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ДП – дизельне паливо;

ЕТБЕ – етил-трет-бутиловий ефір;

ЗНГ – зріджений нафтовий газ (пропан-бутан);

ЗПГ – зріджений природний газ (метан);

ККД – коефіцієнт корисної дії;

МТБЕ - метил-трет-бутиловий ефір;

о.о. – октанова одиниця;

ВСТУП

Автомобільний транспорт є однією з галузей, що у значній мірі визначає розвиток промисловості і сільського господарства України. Разом з тим він є найбільшим споживачем моторних палив нафтового походження, штучним джерелом забруднення атмосферного повітря приблизно такої ж потужності, як енергетична галузь або сумарно всі інші галузі господарства, та одним з основних джерел викидів „парникових газів”.

Негативний екологічний вплив цієї галузі, що має багатоплановий характер, виявляється, насамперед, в тому, що під час руху автомобілів до атмосферного повітря викидаються шкідливі речовини з відпрацьованими й картерними газами двигунів, продукти зношування шин, гальмівних колодок та інших деталей. Колісні транспортні засоби є основними джерелами шуму, вібрації та електромагнітного випромінювання в населених пунктах.

Станом на 01.01.2016 р. автомобільний парк України налічував понад 9,8 млн. автомобілів [1], що на 44% більше, ніж у 2000 р.

За статистичними даними [2] в 2016р. в Україні було спожито 3740,1 тис. т бензину та 5585,2 тис. т дизельного палива, що перевищило відповідно на 30% та 14% рівень споживання цих палив у 2012 р.

Викиди шкідливих речовин автотранспортом до атмосферного повітря у 2016 році зросли на 45% у порівнянні з 2009р. і становили 2076,9 тис. т [2] – 95,5 % викидів від пересувних джерел або 32,8 % від загального обсягу шкідливих викидів до повітряного басейну.

П'ятий рік поспіль у світі загострюються проблеми, пов'язані із суттєвим подорожчанням нафти, вартість якої з початку 2014 р. зросла майже в 4 рази, що дає підстави вважати це проявом глобального вичерпання запасів нафти в умовах зростаючого попиту на нафтопродукти.

Для України, яка не має достатніх власних запасів нафти та газу, пошук, розширення виробництва та використання альтернативних джерел енергії і палив має особливе значення. Одним з основних альтернативних палив в Україні

може стати біобутанол. Потенціал щорічного виробництва біобутанолу за наявною сировинною базою (меляса, кукурудза, зернові) згідно з експертною оцінкою фахівців Міністерства аграрної політики України і Концерну „Укрспирт” сягає 2 млн. т.

Деякі властивості біобутанолу не дозволяють застосовувати його як повний заміник бензину без зміни конструкції і регулювань ДВЗ та КТЗ в цілому. Тому на першому етапі найреальнішим буде розширити виробництво біобутанолу і запровадити масове використання сумішевих бензинів (з добавками біобутанолу та інших сполук), придатних для КТЗ, що перебувають в експлуатації.

Актуальність теми. У зв'язку із суттєвим зростанням забруднення атмосферного повітря вихлопними газами ДВЗ автомобілів та збільшенням вартості моторних палив нафтового походження надзвичайно актуальним є розширення використання альтернативних палив, а особливо біопалив з відновлюваної рослинної сировини, в тому числі біобутанолу, що дозволяє зменшити залежність транспорту України від нафти як джерела енергії.

Заходи з розширення використання біобутанолу як і інших біопалив слід розглядати з урахуванням необхідності виконання жорстких екологічних вимог до КТЗ, забезпечення надійності роботи і ресурсу ДВЗ та інших систем КТЗ, що потребує застосування біопалив високої якості. З урахуванням цих аспектів актуальність роботи визначають проведені дослідження впливу добавок біобутанолу до бензину на енергоефективність, екологічні, енергетичні та експлуатаційні показники КТЗ.

Мета й задачі дослідження. Метою роботи є дослідження можливостей зниження забруднення атмосферного повітря вихлопними газами автомобільних двигунів за рахунок розширення паливної бази автомобільного транспорту та поліпшення екологічних показників КТЗ шляхом застосування альтернативних палив, а зокрема добавок біобутанолу до бензину. Для досягнення цієї мети в роботі вирішуються такі задачі:

1 Аналіз існуючих видів альтернативних палив і теоретичне дослідження властивостей та придатності до застосування в автомобільних ДВЗ, екологічних показників автомобілів при використанні альтернативних палив, проведення теоретичного дослідження впливу спиртових добавок до бензину на показники роботи ДВЗ.

2 Удосконалення методики визначення показників ДВЗ для оцінювання впливу добавок спиртових сполук до бензину на екологічні, енергетичні показники та енергоефективність КТЗ.

3 Проведення розрахункового дослідження впливу добавок біобутанолу до бензину на екологічні, енергетичні показники та енергоефективність КТЗ.

4 Перевірка адекватності методики для розрахунку основних параметрів ДВЗ при використанні сумішевого бензину з добавкою біобутанолу.

Об'єкт дослідження –вплив добавок спиртових сполук до бензину (на прикладі біобутанолу) на показники роботи ДВЗ і КТЗ.

Предмет дослідження – екологічні, енергетичні показники та енергоефективність ДВЗ і КТЗ при використанні сумішевого бензину з добавками спиртових сполук (на прикладі біобутанолу).

Наукова новизна отриманих результатів:

- Запропоновано новий спосіб виділення біобутанолу із культуральної рідини, який здійснюється без підведення теплової енергії до зброженого середовища, тобто без дистиляції.

- Одержано результати розрахункового дослідження впливу добавок біобутанолу до бензину, які показали, що застосування цих добавок дозволяє в умовах експлуатації КТЗ зменшити витрату базового бензину, значно знизити викиди продуктів неповного згоряння палива (монооксиду вуглецю та вуглеводнів) з вихлопними газами, при цьому викиди оксидів азоту залежать від завантаження ДВЗ і під час експлуатації у міських умовах не повинні бути більшими, ніж на бензині. Це дає підстави очікувати зниження сумарних викидів шкідливих речовин.

Практичне значення одержаних результатів.

1 Отримано числові значення екологічних, енергетичних показників та енергоефективності ДВЗ і КТЗ при роботі на сумішевих бензинах з добавками біобутанолу та інших сполук.

2 Встановлено за результатами експлуатаційних випробувань підконтрольних груп КТЗ при використанні базового та сумішевого бензину з добавкою біобутанолу, відсутність суттєвої зміни динамічних показників КТЗ і об'ємної витрати палива при роботі на сумішевому бензині та визначено, що фізико-хімічні властивості сумішевого бензину із добавкою біобутанолу залишаються незмінними тривалий час і при дотриманні відповідних умов зберігання.

3 Запропоновано новий спосіб виділення біобутанолу із культуральної рідини, який здійснюється без підведення теплової енергії до збродженого середовища, тобто без дистиляції.

1 АНАЛІЗ ШЛЯХІВ РОЗШИРЕННЯ ПАЛИВНОЇ БАЗИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Актуальність проблеми використання альтернативних палив автотранспортом

Автомобільний транспорт є однією з галузей, що у значній мірі визначає розвиток промисловості і сільського господарства будь-якої країни. Тому світовий парк транспортних засобів безперервно зростає. Згідно з даними різних джерел у період з 1950 по 1990 роки кількість автомобілів у світі зросла в 7,5-8,5 разів (рис. 1.1) і з 2000 року перевищує 680 млн. одиниць. Щорічний випуск автомобілів у світі становить близько 50 млн. одиниць.



Рисунок 1.1 – Динаміка зростання світового автомобільного парку

Виходячи з кількості автомобілів на тисячу жителів, це значно менше з розвиненими країнами. Так, в Україні ця величина наближається до 140 а в США вона сягає 700 одиниць. Значно вища вона і для передових країн Західної Європи.

Велику роль відіграє автомобільний транспорт і в економіці України. Автомобільним транспортом перевозять понад 60 % пасажирів і більше половини обсягу вантажів. Також він є найбільшим споживачем моторних палив нафтового походження, штучним джерелом забруднення атмосферного повітря

приблизно такої ж потужності, як енергетична галузь або сумарно всі інші галузі господарства, та одним з основних джерел викидів „парникових газів”.

Негативний екологічний вплив цієї галузі, що має багатоплановий характер, виявляється, насамперед, в тому, що під час руху автомобілів до атмосферного повітря викидаються шкідливі речовини з відпрацьованими і картерними газами двигунів, продукти зношування шин, гальмівних колодок та інших деталей. Колісні транспортні засоби є основними джерелами шуму, вібрації та електромагнітного випромінювання в населених пунктах.

Суттєвого забруднення довкілля завдає виробнича діяльність автотранспортних підприємств: мийка автомобілів, їх фарбування, заправлення та заміна паливних й експлуатаційних матеріалів, утилізація зношених вузлів і деталей. Інфраструктура автотранспорту (дороги, автопідприємства, стоянки, станції технічного обслуговування, автозаправні станції) погіршує якість довкілля, займає великі території, виключає з користування родючі землі.

Станом на 01.01.2016 р. автомобільний парк України налічував понад 6,8 млн. автомобілів [1]. Динаміка росту автомобільного парку України показана на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Автомобільний парк України

За статистичними даними [2] в 2016 р. в Україні було спожито 3740,1 тис. т бензину та 5585,2 тис. т дизельного палива, що перевищило відповідно на 30% та 14% рівень споживання цих палив у 2012 р. (рис. 1.3).

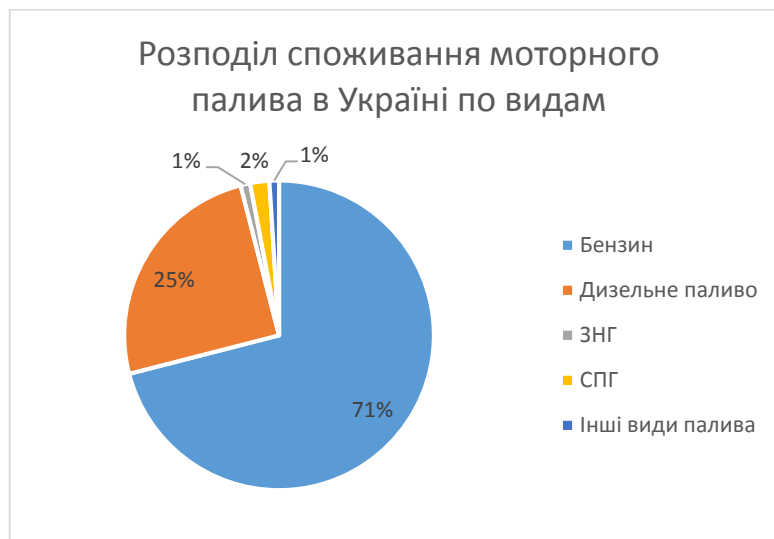


Рисунок 1.3 – Розподіл споживання моторного палива в Україні по видам

Викиди шкідливих речовин автотранспортом до атмосферного повітря у 2016 році зросли на 45% у порівнянні з 2009 р. і становили 2076,9 тис. т [2] – 95,5 % викидів від пересувних джерел або 32,8 % від загального обсягу шкідливих викидів до повітряного басейну.

За статистичними даними [2, 3] в 2016 р. в Україні на 1 кв.км території припадало 3440кг шкідливих речовин, викинутих автомобілями до атмосфери, а на одного мешканця - близько 44 кг, що на 54 % більше, ніж у 2009 р.

У густонаселених регіонах та містах ці показники є значно гіршими. Наприклад, у м. Києві шкідливі викиди автотранспортом до повітря в 2016 р. становили 165,1 тис. т, що в 2,4 рази більше, ніж у 2012 р., а на 1 кв. км території припадало 206,3 т, що в 60 разів перевищувало середній рівень у країні. Внесок автотранспорту у забруднення атмосферного повітря м. Києва становив 83,4% від загального обсягу викидів.

Згідно з Законом України „Про деякі питання ввезення на митну територію України транспортних засобів” (у редакції Закону України від 30.11.2005р. №3151- IV) [4] з 2009р. введено екологічні норми Євро-2 для всіх імпортованих та нових вітчизняних легкових автомобілів, автобусів і сідельних тягачів. Дотримання жорстких екологічних вимог до КТЗ і двигунів внутрішнього

згоряння, що запроваджено в Україні та в інших країнах-учасниках Женевської Угоди 1958р. [5-7], потребує використання моторних палив відповідної якості, без чого реалізація високих екологічних показників сучасних КТЗ неможлива [8-11].

Вимоги до моторних палив стають дедалі жорсткішими. Прикладом цього є Директива 2003/17/ЕС [12], якою доповнено Директиву 98/70/ЕС. За цією І Директивою та європейськими стандартами EN 228-2004 на бензини і EN 590-2004 на дизельні палива в країнах-членах ЄС з 1 січня 2009 р. допускають виробництво лише малосірчаних бензинів і дизельних палив з вмістом сірки до 50 мг/кг, а з 2012 року – лише безсірчаних палив з вмістом сірки до 10 мг/кг. Бензини з 2009 року повинні містити не більше 35 % за об'ємом ароматичних вуглеводнів, 1% об. бензолу, 18 % об. олефінів; ДП – не більше 11 % за масою поліциклічних ароматичних вуглеводнів та мати температуру спалаху, цетанове число і цетановий індекс, відповідно, не менше ніж 55 °С, 51 та 46.

Вимоги національних стандартів ДСТУ 4063-2001 на бензини і ДСТУ 3868-99 на ДП недостатньо гармонізовані з EN 228 та EN 590 [10,11].

Обмеження в бензинах вмісту сірки, ароматичних вуглеводнів і бензолу становить, відповідно: 500 мг/кг; 50 % об. (58 % мас.); 4,2 % об. (5,0 % мас.), вміст олефінів взагалі не обмежено. Обмеження в автомобільних ДП вмісту сірки та мінімальні значення температури спалаху і цетанового числа встановлено, відповідно: 2000 мг/кг, 35-40 °С (залежно від виду ДП) та 45. Цетановий індекс і вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів на відміну від EN 590 не нормовано.

Слід зазначити, що розроблення національних стандартів, гармонізованих з EN 228 та EN 590, передбачено Планом заходів на 2018-2022 роки щодо реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, затвердженим розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27.07.2012 р. № 436-р.

Запаси нафти в надрах Землі обмежені, витрати на її добування і транспортування постійно зростають. За прогнозами комісії ЮНЕСКО уже в

першій чверті цього сторіччя в значній мірі будуть вичерпані розвідані запаси нафти. За даними Енергетичної комісії США за останні 20 років в світі не було відкрито жодного крупного родовища нафти. При цьому слід пам'ятати, що в країнах ОПЕК через стремління збільшення квот на добування нафти близько на третину завищені об'єми раніше розвіданих родовищ. Розвіданих запасів нафти при збереженні сучасних темпів зростання її добування і споживання вистачить на 40—50 років, причому в деяких країнах виснаження нафтових запасів прогнозується в більш короткі терміни.

П'ятий рік поспіль у світі загострюються проблеми, пов'язані із суттєвим подорожчанням нафти, вартість якої з початку 2014 р. зросла майже в 4 рази, що дає всі підстави вважати це проявом глобального вичерпання запасів нафти в умовах зростаючого попиту на нафтопродукти. Проблема забезпечення транспорту енергоресурсами визнана, зокрема в США і країнах ЄС, проблемою національної безпеки, для вирішення якої втілюють надзвичайні заходи з розширення використання альтернативних видів палива та підвищення енергоефективності КТЗ.

Так, згідно з Програмою розвитку відновлюваних палив - складовою Акту енергетичної політики (Energy Policy Act) від 2015 р. в США введено стандарт [14], яким зобов'язали виробників та імпортерів моторних палив забезпечити в 2016 р. поставку відновлюваних палив споживачам в обсязі щонайменше 2,78 % від обсягу бензину, наявного на ринку. Очікуване споживання біоетанолу в 2016 р. становить майже 12 млн. т, що вчетверо більше, ніж у 2006 р. Уп'ятеро зросло в 2012-2016 рр. виробництво біодизельного палива – до 75 тис. т. Програмою передбачено збільшити до 2022р. виробництво відновлюваних палив ще майже вдвічі – до 22,4 млн.т. Згідно з Біоенергетичним планом дій (BioEnergy Action Plan) штату Каліфорнія [15], прийнятим у липні 2016р., обсяг біопаливу виробництві моторних палив у штаті становитиме щонайменше 20 % до 2022 р., 40 % - до 2030 р. і 75 % - до 2050 р.

Директивою 2003/30/ЕС "Щодо сприяння використанню біологічних та інших відновлюваних палив для транспорту" [16] поставлено мету - до кінця

2022 р. замінити в країнах ЄС 5,75 % усіх моторних палив (в перерахунку за енергоємністю) біопаливами і довести до 2030 р. частку альтернативних моторних палив до 40 %.

За інформацією Європейської Комісії в країнах ЄС лише за один 2016 р. зросло виробництво біодизельного палива на 29,6 %, біоетанолу на 15,6 %, ЕТБЕ продукту переробки біоетанолу) на 9,5 % та становило, відповідно: 1,96 млн. т; 491 і 626 тис. т .

Урядом Швеції в 2017 р. оприлюднено інформацію про намір цієї країни до 2022р. відмовитися від нафти як джерела енергії [17] завдяки використанню енергії з альтернативних джерел. На сьогодні Швеція вже отримує 65 % енергії не з і викопних джерел.

Для України, яка не має достатніх власних запасів нафти та газу, пошук, розширення виробництва та використання альтернативних джерел енергії і палив має особливе значення. Одним з основних альтернативних палив в Україні може стати біоетанол та біобутанол. Потенціал щорічного виробництва біоетанолу за наявною сировинною базою (меляса, кукурудза, зернові) згідно з експертною оцінкою фахівців Міністерства аграрної політики України і Концерну „Укрспирт” сягає 2 млн.т. З цього приводу слід зазначити, що в Пояснювальному меморандумі до проекту Директиви ЄС від 07.11.2001 р. № 2001/0265 (COD) є пряме посилання на Україну, яка має сировинну базу для виробництва біоетанолу і може в перспективі поставляти його до країн ЄС.

Деякі властивості біоетанолу не дозволяють застосовувати його як повний замінник бензину без зміни конструкції і регулювань ДВЗ та КТЗ в цілому. Тому на першому етапі найреальнішим буде розширити виробництво біоетанолу і запровадити масове використання сумішевих бензинів (з добавками біоетанолу та інших сполук), придатних для КТЗ, що перебувають в експлуатації.

Це передбачено Указом Президента України «Про заходи щодо розвитку Виробництва палива з біологічної сировини» [18] і програмою «Етанол», затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України від 04.07.2000 р. № 1044.

Закон України „Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання виробництва бензинів моторних сумішевих” [19] запроваджує з 2013 пільгову ставку акцизного збору на сумішеві бензини, які містять не менше ніж 2 % за об'ємом добавок на основі біоетанолу та/або не менше ніж 5 % за об'ємом етил-трет-бутилового ефіру.

1.2 Аналіз альтернативних палив для автомобілів

Найбільш поширеними в світі альтернативними моторними паливами для автомобілів є стиснений природний газ, зріджений нафтовий газ, спиртові палива на основі біоетанолу, біодизельні палива з вмістом ефірів жирних кислот. Слід зазначити, що зріджений нафтовий газ, який є паливом нафтового походження, лише умовно можна віднести до альтернативних палив.

Широко використовують сумішеві бензини з добавками біоетанолу та ефірів: МТБЕ і ЕТБЕ. У 70-80 рр. минулого сторіччя в багатьох країнах було проведено низку досліджень і демонстраційних проектів щодо використання метанолу як моторного палива або добавки до бензинів чи дизельних палив, але внаслідок високої токсичності метанол до цього часу масового застосування не отримав.

У найближчий час у світі очікують освоєння технологій промислового виробництва й використання як моторних палив: дизельних палив з добавками біоетанолу; диметилового ефіру замість дизельних палив; зрідженого природного газу; сумішей природного газу і водню; біогазу; композитних альтернативних палив на основі біоетанолу, інших спиртів та ефірів, отримання природного газу з біогазу. Є можливим розроблення технологій застосування як моторних палив або добавок до традиційних палив бутанолу, пропанолу, аміаку та інших сполук.

На більш дальню перспективу можна очікувати збільшення промислового виробництва синтетичних бензинів і дизельних палив, значного розширення використання водню як моторного палива або як добавки до інших палив, а

також запровадження в серійних КТЗ паливних елементів з використанням водню, метанолу, етанолу, природного газу та інших альтернативних палив як джерел енергії.

Слід зазначити, що альтернативні палива та нові технології, широке запровадження яких очікують у ближній та дальній перспективі, вже сьогодні застосовують на дослідних зразках КТЗ і заправного обладнання.

Згідно з [20] застосовують класифікацію, якою альтернативні моторні палива умовно поділяють на три групи:

1. Природний та нафтовий газ, біогаз, водень, олії, спиртові палива
2. Синтетичні палива, які отримують переробкою кам'яного вугілля, горючих сланців, природних бітумів або природного газу.
3. Синтетичні компоненти традиційних нафтових палив, які покращують ті чи інші властивості цих палив або зменшують їх витрату. До таких синтетичних компонентів належать: етиловий та метиловий спирти, етил-трет-бутиловий, метил-трет-бутиловий, ріпакометаноловий, ріпакоетаноловий, диметиловий, метил-трет-аміловий ефіри та інші сполуки.

Окремою важливою ознакою, за якою в останні роки поділяють альтернативні палива, є їх належність або неналежність до палив з відновлюваних ресурсів (далі - відновлюваних палив), зокрема до біопалив.

При цьому, та ж сама речовина, залежно від її походження та технології виробництва, може бути визнана як відновлюваним, так і невідновлюваним паливом. Наприклад, природний газ, який отримують із свердловини є викопним, невідновлюваним паливом. Природний газ того ж самого хімічного складу, який отримують шляхом переробки біомаси, слід віднести до біологічних, відновлюваних палив.

У випадку, коли паливо виробляють із застосуванням як біомаси, так і невідновлюваної сировини, таке паливо вважають біопаливом частково із зазначенням відсотка належності до біопалив. Наприклад, біо-ЕТВЕ та біо-МТВЕ за існуючими технологіями виробництва та сировиною можна вважати

біопаливами лише частково з максимально можливим відсотком належності до біопалив, відповідно, 47 % і 36 %.

Такий підхід застосовано в Директиві 2003/30/ЕС [16], там же наведено основні визначення термінів, які стосуються палив з біологічних відновлюваних ресурсів – біомаси, біопалива, біоетанолу, біометанолу, біодизельного палива, біогазу, біодиметилового ефіру, біо-МТВЕ, біо-ЕТВЕ, біоводню та інших сполук, Окремі визначення дані в переліку термінів і умовних скорочень у цій роботі.

Для паливного етанолу, виготовленого з біомаси, в Україні згідно з ТУ У 30183376.001-2000 до 2016 р. застосовувався не зовсім точний термін – „високооктанова кисневмісна добавка” (ВКД), який було замінено на термін „біоетанол” [19,21], ідентичний тому, який застосовано в [16].

Будь-яке з альтернативних палив має свої переваги і недоліки, серед яких найважливішими є:

- виробничі витрати;
- доступність для споживача;
- вплив на навколишнє середовище; необхідність пристосування двигуна до процесу живлення новими паливами;
- безпека використання;
- схвалення споживачем.

Наприклад, етанол і природний газ добре схвалені споживачем. У свою чергу водень вважається найбільш „чистим паливом” і дотепер не є достатньо поширеним, і тому що відсутні технічні рішення щодо можливостей його складування.

По-перше, власна сировина для виробництва альтернативних палив робить дану державу енергетично незалежною від імпортої нафти і пов'язаних з цим проблем (відсутність дипломатичних відносин, воєнний стан і т.п.). Природний метан можна одержати з природного газу або органічних матеріалів, таких, як вугілля, сільськогосподарські відходи, сміття тощо. Етанол – із сільськогосподарських продуктів: картоплі, цукрового буряку, цукрового

очерету. Рослинні палива і їхні складні ефіри можна одержати із насіння: сої, рапсу, соняшнику, льону, плодів кокосової пальми. Водень можна одержати з води в результаті її електролізу, а також з інших вуглеводневих палив і біомаси.

По-друге, альтернативні палива знижують емісію шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу з продуктами згорання. Це стосується всіх альтернативних палив.

При менш складній структурі і менших молекулах палива під час їхнього згорання в процесі розпаду знижується кількість перехідних хімічних сполук, що можуть бути токсичними. Крім того, завдяки зниженню вмісту вуглецю стосовно водню у процесі згорання палива, у меншій кількості в порівнянні з бензином утвориться чадний газ. З цієї причини метан, пропан, бутан, метанол, етанол і водень під час їхнього згорання не так, як бензин і дизельне паливо забруднюють повітря.

По-третє, в кінцевому підсумку істотними є експлуатаційні витрати двигунів транспортних засобів. Застосування природного газу знижує вартість експлуатації автомашин

Метанол, етанол і водень у порівнянні з іншими альтернативними паливами занадто дорогі для того, щоб їх застосовувати для живлення двигунів внутрішнього згорання. Проте шляхом введення відповідних законів і застосування певних економічних стимулів (державні дотації, звільнення від оподаткування і т.п.) ціни водню й етанолу можна значно знизити.

Застосування альтернативних палив повинно в глобальному розрахунку, завдяки зниженню емісії токсичних компонентів вихлопних газів, забезпечити нижчу вартість експлуатації автомобілів.

Залежно від політики, яку проводить дана держава стосовно альтернативних палив, їх ціни, в різних країнах відрізняються одна від одної.

В табл. 1.1 приведені дані про відносну ефективність використання різних альтернативних палив на автотранспорті. Як видно, більш ефективними, ніж бензин, є всі види газового палива в наступній послідовності: ЗНГ і СПГ.

Таблиця 1.1 – Відносна ефективність використання різноманітних альтернативних палив на автотранспорті

Моторне паливо	Витрата* енергії на виробництво палива	Вартість** одиниці пробігу	Пробіг на одній заправці
Бензин	1	1	1
нафтовий	1,6	1,2	1
синтетичний (із синтез-газу)			
Метанол	1,6	1,5	0,5
Етанол	1,7	1,8	0,6
ЗНГ	1,05	0,7 – 0,9	1
СПГ	1,1 – 1,25	0,85 – 1,1	0,6 – 0,8
ДМЕ	1,5-2	—	—
Водень	3 – 4	—	—

Примітка: * – з врахуванням витрат на добування, транспортування і переробку первинного енергоносія в моторне паливо; ** – визначена застосовано до шестимісного автомобіля з конвертованим на газове паливо двигуном.

За кордоном, зокрема в США, окрім звичайної вартості палив для автотранспорту, що враховує витрати на добування, транспортування, переробку і т.д., розраховують так звану ефективну вартість, в яку включають екологічний збиток від його застосування. Результати такої оцінки для автотранспорту з двигуном потужністю 75 кВт при пробігу 300 миль в умовах США приведено в табл. 1.1 [22-23]. Як видно, найменший екологічний збиток приносять водень, етанол і ЗНГ.

Таблиця 1.2 – Вартість різних видів палив з урахуванням екологічної складової ефективної вартості

Паливо	Вартість, дол./км		Екологічна складова ефективної вартості, дол./км
	звичайна	ефективна	
Бензин	0,03	0,059	0,029
ЗНГ	0,022	0,047	0,025
Метанол	0,029	0,052	0,023

Продовження таблиці 1.2

Паливо	Вартість, дол./км		Екологічна складова ефективної вартості, дол./км
	звичайна	ефективна	
Етанол	0,047	0,069	0,022
Водень (електролізний)	0,062	0,068	0,006

За оцінкою експертів, існує лише декілька перспективних палив, альтернативних бензину. Найбільш перспективні з них зріджений нафтовий газ (ЗНГ), стиснений природний газ (СПГ), метанол, етанол. Для дизельного двигуна альтернативою традиційному паливу є диметилловий ефір (ДМЕ), деякі рослинні масла (наприклад, рапсове) і продукти, отримані на їх основі.

Проаналізуємо альтернативні моторні палива за групами відповідно до [20] з їх властивостей та придатності до застосування в автомобільних ДВЗ, шляхів отримання, умов зберігання, можливості широкого використання в умовах експлуатації автомобілів та інших факторів.

1.3 Газоподібні палива – замітники палив нафтового походження

Природний газ, основним компонентом якого є метан, вважають одним з основних і найбільш реальних заміників палив нафтового походження [20, 25-31]. Це пояснюється тим, що його розвідані запаси значно більші, ніж запаси нафти; порівняно з бензином природний газ має значно вище октанове число (110... 115о.о.); межі спалахування газоповітряної суміші від електричної іскри більш широкі; агрегатний стан забезпечує більш рівномірний розподіл суміші по циліндрах ДВЗ. Все це [забезпечує можливість стабільної роботи ДВЗ з іскровим запалюванням на збіднених паливоповітряних сумішах, нижчу токсичність ВГ за продуктами неповного згоряння і викидами сполук сірки. Крім того, за умови роботи на природному газі відсутнє розрідження моторної оливи, її змивання зі стінок циліндра, внаслідок чого менше зношуються деталі ДВЗ.

Разом з тим, природному газу як моторному паливу притаманний ряд недоліків, які стримують його широке впровадження на автомобільному транспорті. Нижча теплота згоряння природного газу становить 0,032...0,034 МДж/л, у той час теплота згоряння бензину дорівнює 32 МДж/л, дизельного палива - 31,3 МДж/л тобто ця величина для газу в тисячу разів менша в порівнянні з бензином, що приводить:

- 1) до зменшення пробігу на одній заправці і необхідності великої кількості балонів для зберігання СПГ, в результаті вантажопідйомність автомобіля зменшується на 9-14%. Природний газ доводиться стискати до високого тиску або зріджувати, щоб забезпечити достатній пробіг КТЗ. У стисненому стані природний газ зберігають у балонах під тиском до 20 МПа, але навіть при такому тиску об'ємна витрата газу в 5 разів більша, ніж бензину;
- 2) до зменшення потужності ДВЗ з іскровим запалюванням при переведенні з бензину на природний газ на 16... 18%;
- 3) до зменшення на 5-6% максимальної швидкості;
- 4) до збільшення на 24-30% часу розгону.

Усунення або нівелювання низької теплоти згоряння можливо двома шляхами: збільшенням ступеня стиснення в камері згорання, що можливо забезпечити завдяки високим октановим характеристикам газового палива — цей шлях практично виключає варіант двопаливного двигуна; впорскуванням газу безпосередньо в камеру згорання чи застосуванням турбонаддува, що пов'язано з ускладненням конструкції двигуна.

До інших недоліків природного газу слід віднести:

- 1) більш складну систему подачі палива в двигун, що включає балони, редуктори і т.д.;
- 2) затруднення пуску двигуна в холодну пору року (нижче 0 °С), що пояснюється більш високою температурою спалахування і самоспалахування природного газу (відповідно 187 і 537 °С) в порівнянні з бензином і дизельним паливом, тому в схемі передбачені підігрівачі; при відсутності підігріву

можливий пуск двигуна на нафтовому паливі з наступним переводом на газове після прогріву двигуна - робота по двопаливному варіанту;

3) підвищені вимоги по вибухо- і пожежобезпеці.

Одним з перспективних напрямків вважають конвертацію дизелів для роботи на природному газі шляхом зниження ступеня стискання та встановлення системи запалювання. Також здійснюють конвертацію дизелів в газодизелі, основним паливом для яких є природний газ, що подається в циліндри ДВЗ в суміші з повітрям у процесі впуску. Запалювання газоповітряної суміші здійснюється впорскуванням невеликої „запальної” дози дизельного палива,

Зберігання природного газу в зрідженому стані на борту КТЗ можливе за наявності кріогенних балонів. З точки зору вагових характеристик КТЗ цей шлях має значну перевагу порівняно зі зберіганням газу в стисненому стані. Однак його реалізація потребує часу для вирішення низки складних технологічних та інвестиційних проблем, пов'язаних зі створенням відповідної інфраструктури, виробництвом заправного обладнання та кріогенних балонів.

Для отримання, осушування, очищення, стиснення газу та заправлення КТЗ необхідно будувати дорогі автомобільні газонаповнювальні компресорні станції (АГНКС), мережа яких потребує подальшого розвитку, хоча за останні роки і побудовано багато нових станцій і в Україні вже діє 147 АГНКС.

Незважаючи на зазначені недоліки природному газу як моторного палива і наявні проблеми, використання природного газу на автомобільному транспорті швидко зростає як у світі, так і в Україні, насамперед, завдяки значно меншій вартості СПГ порівняно з бензином і дизельним паливом.

Згідно з інформацією всесвітньої Міжнародної асоціації використання природного газу для газобалонних автомобілів (International Association for Natural Gas Vehicles – IANGV) станом на середину 2016 р. кількість автомобілів у світі, які працюють на природному газі досягла 5,3 млн. (www.iangv.org/content/view/) у тому числі в Аргентині 1,5 млн., Бразилії - 1,1 млн., Пакистані - 1,0 млн. Європейським лідером щодо використання природного газу як моторного палива є Італія (майже 400 тис.). Друге місце в

Європі та перше серед країн СНД за обсягами споживання СПГ посідає Україна. Кількість газобалонних автомобілів в Україні, що працює на СПГ, за оцінкою фахівців ДК „Укртрансгаз” станом на червень 2006 р. перевищила 90 тис. Офіційні статистичні дані з цього питання в Україні, на жаль, відсутні.

Значно менші масштаби застосування може мати нафтовий газ, основними компонентами якого є пропан і бутан. Цей газ отримують під час видобування і переробки нафти, в значно менших масштабах в порівнянні з видобутком природного газу. Детонаційна стійкість ЗНГ становить 90... 100 о.о., що дозволяє використовувати його на сучасних ДВЗ з іскровим запалюванням і високими ступенями стискання. Зрідження нафтового газу за температури навколишнього середовища здійснюється при відносно невисокому тиску, тому зріджений нафтовий газ на борту автомобіля зберігають у відносно легких балонах під тиском до 1,6 МПа. Це обумовлює більш доступні способи заправлення таких автомобілів, наприклад за допомогою спеціальних автомобілів-цистерн. Тому в деяких країнах випускають КТЗ, призначені для роботи лише на ЗНГ, з газовими ДВЗ з підвищеним на 1,5...2,0 одиниці ступенем стиснення порівняно з бензиновими ДВЗ. Розширення використання ЗНГ на автомобільному транспорті стримується як відносно незначними обсягами його виробництва, так і широким використанням пропан- І бутану в побуті. Тому можна очікувати, що ЗНГ і в подальшому будуть використовувати як моторне паливо поряд з паливом нафтового походження, але частка ЗНГ в загальному обсязі споживання палив автомобільним транспортом буде відносно невеликою.

Високі екологічні показники газових палив є загальновизнаними. У роботі [28] відзначено, що екологічні показники газового ДВЗ значно кращі ніж бензинового: викиди монооксиду вуглецю в 3...5 разів, вуглеводнів і оксидів азоту в 1,5 рази менші. В [32] наведено дані щодо сумарних викидів шкідливих речовин легкового автомобіля ВАЗ-2108 в умовах експлуатації при роботі:

- на стисненому природному газі - 21,65 г/км;
- на зрідженому нафтовому газі - 19,49 г/км;
- на бензині - 27,51 г/км.

У роботі [33] за результатами експериментальних досліджень підтверджено меншу токсичність ВГ газового ДВЗ порівняно з бензиновим ДВЗ, але це стосується лише викидів монооксиду вуглецю (CO), а викиди вуглеводнів (C_mH_n) і оксидів азоту (NO_x) для обох палив отримані однакові. Щоправда, випробування проводили із застосуванням морально застарілої газової апаратури. У роботі [34] наведено результати порівняльних випробувань дизелів „Євро-2” автобусів „Вольво” і „Сканія”, що працюють на стисненому природному газі, та вантажних автомобілів „Мерседес-Бенц” при використанні дизельного палива з вмістом сірки близько 200 млн^{-1} . Результати випробувань показують, що при використанні стисненого природного газу викиди твердих частинок усіх розмірів знижуються в 100 разів у порівнянні з дизельним паливом.

Таким чином, проведені дослідження підтверджують поліпшення екологічних показників ДВЗ з іскровим запалюванням і дизелів при переведенні на газове паливо.

Як одну з можливих альтернатив паливам нафтового походження розглядають біогаз, який містить до 55 % метану. Інтерес до біогазу пояснюється як наявністю великої сировинної бази, так і можливістю отримувати його шляхом зброджування рослинної біомаси, відходів тваринних ферм, міських відходів, каналізаційної маси на станціях очищення стічних вод. Разом з тим необхідно зауважити, що біогаз має і нестабільний склад залежно від сировини і містить компоненти, які викликають корозію деталей ДВЗ [27]. Тому, більш перспективним шляхом уявляється удосконалення технологій промислового виробництва з біогазу саме природного газу або використання його як побутового палива. Згідно з [28] було налагоджено і серійне виробництво автомобілів Opel Zafira, які могли працювати на біогазі.

У літературних джерелах не виявлено ґрунтовних досліджень щодо і визначення екологічних показників ДВЗ при роботі на біогазі. В дослідженні [35] наводяться дані, отримані при роботі ДВЗ зі ступенем стискання $\epsilon = 15$ при повністю відкритій дросельній заслінці на модельному газі, що складається з метану і діоксиду вуглецю (30...40%), який за складом близький до біогазу. При

сталому складі паливоповітряної суміші викиди CO і NO_x при роботі на біогазі практично не відрізняються від відповідних викидів на природному газі. Викиди C_mH_n на біогазі на 50% вищі порівняно з природним газом.

1.4 Використання біопалив, отриманих з відновлюваних ресурсів

Широкого використання набули біопалива. Європейська Комісія (ЄК) розглядає біопаливо як енергоносіє, який сприяє безпеці і різноманітності постачання паливом транспорту в країнах Європейського Союзу, а також покращує екологічну обстановку в регіоні. В 2016 р. ЄК прийняла Директиву 2003/30/ЄС, в якій визначила мету по збільшенню частки біопалива в загальному балансі палива на транспорті з існуючих 0,3% до 2% в 2017 р. і 5,75% в 2021 р.

Біопалива мають ряд переваг. По-перше, це відновлюване джерело енергії. По-друге, в теперішній час вже розроблені комерційно готові технології для виробництва біопалива для використання на транспорті.

Біопаливо виробляється з біомаси, яка є матеріалом з коротким карбоновим циклом. Це означає, що CO_2 , який поглинули рослини в процесі свого зростання, повертається в атмосферу при використанні біопалива, отриманого з цих рослин. Унаслідок того, що нетто-викиди CO_2 в цьому випадку рівні 0, біопалива розглядаються як карбон-нейтральні палива (рис. 1.4).

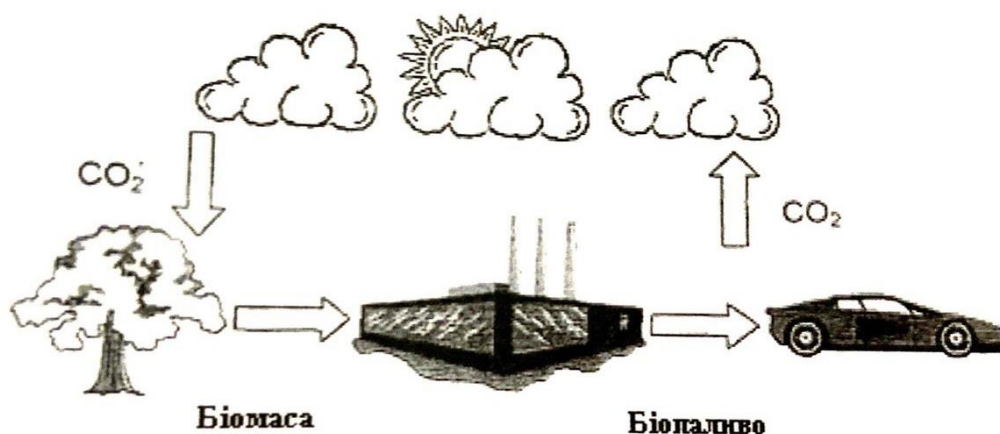


Рисунок 1.4 - Цикл вуглекислоти при використанні біопалива [41]

Серед альтернативних біопалив для дизелів значний інтерес викликають олії, отримувані з різних олійних рослин (ріпаку, соняшника, сої, льону).

Існує кілька шляхів використання ріпаку для виробництва біодизельного палива:

- отримання олії, фільтрація і додавання 20-50% її у традиційне дизельне паливо. При цьому не потрібно створювати спеціальні двигуни;
- отримання олії, фільтрація і робота на чистій ріпаковій олії. Цим шляхом пішли у Німеччині, створивши спеціальні двигуни;
- отримання ріпаково-метилового ефіру (PME) - продукту переробки ріпакової олії, що не потребує створення спеціальних двигунів. Цим шляхом пішли країни ЄС;

Порівняно з паливом із нафти для автомобільного транспорту, біодизельне паливо на основі ріпакової олії відзначається суттєвими перевагами [42]. Головні з них:

- воно майже не містить сірки, тому його використання зменшує викиди в атмосферу сірчаного ангідриду (на 1 тис т, якщо замінити 250 тис т дизпалива з нафти такою ж кількістю біодизелю з ріпаку);
- при спалюванні біодизелю не підсилюється парниковий ефект, оскільки ріпак, як і вся біомаса, є CO₂-нейтральним;
- високий ступінь біологічного розкладу за відносно короткий період. Згідно з міжнародним тестом СЕС L-33-A-93, за 21 день біологічний розклад сягає 90%;
- зменшується концентрація шкідливих речовин у вихлопних газах. Зокрема, димність газів зменшується вдвічі, а концентрація CO₂, НС і твердих частинок, особливо сажі, знижується на 25-50%;
- як продукт переробки рослинної сировини, біодизель не містить канцерогенних речовин, таких як поліциклічні ароматичні вуглеводні та, особливо, бензапірен;
- ріпакова олія відзначається більшим, порівняно з дизельним паливом, вмістом кисню (11 та 0,4% відповідно). Тому для повного згорання 1

кг ріпакової олії потрібно менше, ніж для дизельного пального, повітря (12,9 та 14,45 кг відповідно).

До недоліків біодизелю відносять знижену теплоту згорання, що спричиняє падіння потужності двигуна до 16% і збільшення витрати пального. При цьому потрібно часто замінювати масляні фільтри й проводити регламентні роботи на форсунках через значне закоксування отворів розпилювачів. Якщо ж віднести нижню теплоту згорання до 1 л, то різниця між показниками біодизелю і традиційного дизпалива дорівнюватиме лише 5,8% завдяки більшій щільності ріпакової олії. Її негативною властивістю є також велика в'язкість, що погіршує розпилювання, сумішоутворення і згорання в дизелі. Це спричиняє відкладення на стінках камери згорання, а отже швидкий вихід двигуна з ладу. Крім того, мають місце жирові відкладення в каналах паливної апаратури. Зазначені недоліки можна подолати, застосовуючи: двигуни спеціальної конструкції (для роботи на чистій ріпаковій олії), РМЕ, який за своїми моторними властивостями близький до дизельного пального, суміші з вмістом 20% олії.

Щоб двигун працював на чистій олії, його необхідно модифікувати. Зараз декілька західноєвропейських фірм, зокрема Elsbet-Konstruktion (Ельсбет-Констракшн), Hilpolstein (Хілполштайн), Thun'nger Moto-renwerke GmbH Nordhasen (Турінгер Мото-ренверке ГмбХ Нордхасен), Diaeselmotoren und Geratebau Schonebeck (Діеселмоторен унд Гератебау Шонебек), Volvo (ВОЛЬВО) та інші, пропонують багатопаливні двигуни, придатні для роботи на рослинній олії. На чистій рослинній олії працюють двигуни фірм Elko (Елко), Deutz Fahr.

У звичайних двигунах можна застосовувати суміші традиційного дизпалива з олією (до 20% олії, можливо, з проміжним розчинником). Біодизельне пальне В-20 (20% олії) використовується в Нью-Йорку для перевезення пошти, на поромі у Сан- Франциско, у машинах-заправниках на базах військово-повітряних сил США. Виконані українськими фахівцями

дослідження також підтвердили можливість використання паливної суміші із 20% ріпакової олії та 80% дизпалива з нафти.

Зараз найчастіше застосовують біодизель як продукт переробки ріпакової олії складний ріпаково-метиловий ефір, що за моторними властивостями, як от: цетанове число, в'язкість, температури спалахування та застигання, - близький до дизельного пального. Тому його можна застосовувати на серійних дизелях без будь-яких змін останніх.

Економічний аналіз проблеми виробництва і застосування біодизелю із ріпаку свідчить: якщо вирощувати ріпак виключно з метою одержання біопалива (РМЕ), - вартість останнього порівняно з нафтовим дизпаливом буде вищою у 2-2,5 рази. Проте застосування РМЕ стає економічно доцільним за умови використання усіх продуктів переробки ріпаку: шроту (на корм або продаж), соломи (на підстилку і пічне паливо), гліцерину (його світова вартість становить близько 900 доларів США/т), а також забезпечення не менше 1 т/га виходу олії. З трьох тонн насіння ріпаку вологістю 7-8% можна одержати 1 т біодизелю, 1,9 т шроту (з вмістом олії 8- 12%), 0,2 т гліцерину.

Україна має сприятливі умови для вирощування ріпаку. Зараз ріпаком засівають лише близько 150 тис га, тоді як для цього придатні 75% орних земель. За даними міністерства агропромислового комплексу, середня врожайність цієї рослини в країні сьогодні становить 13 ц/га, що дає вихід олії на рівні 0,5 т/га, тобто у 2-2,5 рази нижче від західноєвропейських показників. З неї Україна виробляє близько 12 тис т/рік, але як дизпаливо вона поки що не використовується. Значна частина олії експортується в Росію, США, Румунію, Казахстан та інші країни приблизно 5-6 тис т/рік) [43].

З аналізу літературних джерел [31, 43-46], в яких наводяться результати досліджень з використання олій як моторних палив, можна зробити висновок, що їх практичне застосування, перш за все, пов'язують з використанням ріпакової олії та продуктами її переробки. Найбільш реальними замінниками дизельного палива на сьогодні є метилові ефіри жирних кислот. До цих ефірів відносять ріпако-метиловий ефір, який широко застосують в країнах

ЕС, і соє-метиловий ефір, який, переважно використовують в США [25]. РМЕ - продукт переробки (переестерифікації) ріпакової олії, за своїми властивостями близький до ДП і може застосовуватися в дизелях без внесення будь-яких змін до їх конструкції.

В [46] підкреслено, що згідно з європейським стандартом EN-590:2004 допускають застосовувати не більше 5 % ефірів у складі ДП, призначеного для неадаптованих до біодизельного палива дизелів (без внесення змін до конструкції зливної системи та застосування спеціальних матеріалів конструкцій ДВЗ). Зроблено висновок, що використання чистого біодизельного палива або ДП з його добавкою, що перевищує 5%, потребує проведення експериментальних досліджень стендових та експлуатаційних випробувань ДВЗ на цьому паливі та запровадження за результатами досліджень відповідних технічних заходів.

Багато досліджень присвячено застосуванню як моторних палив спиртів, зокрема метанолу і етанолу [9,20,31,32,47-82].

Метанол отримують з природного газу, кам'яного вугілля, вапняку, побутових відходів та біомаси. Етанол отримують переважно з рослинної сировини шляхом зброджування і можна отримати шляхом синтезу етилену або ацетону.

Згідно з результатами детальних досліджень, проведених у 2003 р. у Шефільдському університеті (Англія) [81], усереднена кількість енергії, якої потребує виробництво бензину в розрахунку на 1 МДж енергії, яку містить бензин, становить 1,19 МДж; виробництво ж біоетанолу з цукрового буряку потребує лише 0,496 МДж, а з зернових — 0,464 МДж, тобто менше, ніж виробництво бензину, відповідно, на 58,3% та 61,0%. Це можна пояснити, з одного боку удосконаленням в останні роки технологій виробництва спиртів, з іншого боку ускладненням технологій виробництва сучасних малосірчаних та безсірчаних бензинів.

Якщо оцінювати етиловий і метиловий спирти як моторні палива, то їм властиві як переваги, так і недоліки в порівнянні з моторними паливами

нафтового походження. Це видно з табл. 1.3, де наведено усереднені показники палив, запозичені з різних джерел [31, 48-50]. Як видно з наведених у таблиці даних, до основних переваг спиртів як моторних палив, перш за все, належить їх високе октанове число, яке значно вище порівняно з високоякісним бензином. До переваг належать і більш широкі межі поширення полум'я в спиртоповітряних сумішах в порівнянні з бензоповітряними сумішами, що може забезпечити стабільну роботу ДВЗ на збіднених спиртовоповітряних сумішах.

Разом з тим, деякі властивості спиртів не дозволяють застосовувати їх як моторні палива без конструктивних змін ДВЗ, призначених для роботи на паливах нафтового походження. Якщо розглядати спирти як замітники бензину, то основними недоліками є значно менша ніжча теплота згоряння та значно більша теплота випаровування. Крім того, при роботі на спиртах зростають викиди альдегідів з ВГ, зростає небезпека підвищеного зносу деяких деталей.

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця властивостей палив

Властивість	Паливо		
	Бензин	Метанол	Етанол(95%)
Октанове число за моторним методом,	89*	98	99
Нижча теплота згоряння, кДж/кг	43580	19700-22375	25140-27000
Теоретично необхідна кількість повітря, кг повітря/кг палива	14,8	6,46	9,0*
Енергія, що міститься в 1 л суміші при нормальній температурі, кДж/л	4,01	3,99	3,88
Теплота випаровування, кДж/кг	318,5	1165	1031
Відношення теплоти випаровування до нижчої теплоти згоряння, %	0,73	5,2	4,1
Теоретичне зниження температури суміші за рахунок повного випаровування, °С	19	T40	98

Продовження таблиці 1.3

Властивість	Паливо		
	Бензин	Метанол	Етанол(95%)
Теоретичне значення температури суміші при температурі повітря +30°C і повному випаровуванні, °C	+ 11	-110	-68
Розрахункове зростання масового наповнювання циліндрів сумішшю, %	100	174	139
Межі поширення полум'я: нижня ($\alpha_{\text{МАКС}}$) верхня ($\alpha_{\text{МИН}}$)	1,3 0,3		1,7 0,4
Густина палива, г/см ⁵	0,7...0,75	0,791...0,796	0,789...0,796
Елементарний склад, %: С, Н, О	85,34*** 14,15	37,5 12,5 0,5	52,2** 13,6 34,2

Примітка: * - для бензину А-98, ** - для етилового спирту абсолютизованого, *** - для автомобільного бензину.

Наявність великої кількості спирту в суміші погіршує стан паливної системи: можливе виникнення парових пробок і, як наслідок, форсунки з гідравлічним приводом можуть не відкриватися на прогрітому ДВЗ. Метанол за наявності вологи розчиняє свинцеве покриття паливних баків. Відзначається незадовільний пуск ДВЗ на метанолі навіть при використанні підігрівача.

Фірма «Volkswagen» на базі стандартного чотирициліндрового дизеля марки «Rabbit» створила і випробувала ДВЗ, призначений для роботи на метанолі. В конструкцію ДВЗ були внесені необхідні зміни, ступінь стискання був знижений з 23 до 16,5 [51]. Випробування ДВЗ показали, що при роботі дизеля на метанолі викиди C_mH_n були в 3...5 разів вищі, а NO_x на 50...70% нижчі порівняно з роботою на дизельному паливі. Відносно низькі викиди CO і

альдегідів були вищі при роботі еля на метанолі, в той час як викиди твердих частинок в цьому випадку були практично відсутні.

Результати порівняльних випробувань автомобіля з цим двигуном при роботі на метанолі і дизельному паливі наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Показники ДВЗ і КТЗ при роботі на метанолі і дизельному паливі [51].

Вид палива	Викиди, г/км				Витрата палива, л/100 км	
	СН	СО	NO _x	Альдегіди	Міський цикл	Шосейний цикл
Дизельне	0,17	0,65	0,53	0,012	5,84	4,54
Метанол	0,84	1,75	0,29	0,06	14,2	10,1

Як видно з таблиці, при випробуванні КТЗ за викидами отримано результати, логічні тим, що було отримано при випробуванні ДВЗ. Разом з тим, витрата етанолу в 2,2...2,4 рази була вищою, що пояснюється зниженням ступеня стискування та меншим значенням нижчої теплоти згоряння метанолу.

В роботі [48] відзначається, що ДВЗ при роботі на спиртах характеризується нижчою реакційною здатністю щодо озону, тому знижується можливість утворення смогу. В зоні малих навантажень знижуються викиди NO_x і сажі.

У роботі [53] показано, що концентрація NO_x при роботі на метанолі нижча, ніж при роботі на бензині внаслідок нижчої температури в циліндрах двигуна в процесі згоряння. Вміст СО при збагачених сумішах практично однаковий, а в зоні, близькій до стехіометричного складу, при метанолі нижчий, що є наслідком більш повного згоряння. Цим пояснюються і менші концентрації C_mH_n для метанолу. В зоні багатих сумішей вміст СО у ВГ на метанолі вищий.

Разом з тим, на метанолі значно (приблизно в 2 рази) зростають викиди альдегідів. Як відзначається в дослідженнях, викиди поліциклічних вуглеводнів, що мають канцерогенні властивості, на метанолі на порядок менші порівняно з

бензином. При цьому при роботі на метанолі не утворюються сажа і сірчисті сполуки.

Шведська фірма «Volvo Truck Corp.» провела дослідження роботи дизелів на метанолі [60]. Результати порівняльних випробувань дизелів за 13-ступінчастим циклом за методикою FTP (Federal Test Procedure). Робота на метанолі характеризується меншими викидами NO_x і твердих частинок у порівнянні з дизельним паливом, хоча при цьому дещо зростають викиди вуглеводнів.

Фірма «Volkswagenwerk» виготовила партію автомобілів для роботи на метанольному паливі M100, яке здебільшого складається з метанолу, до якого дають ізопентан, що легко випаровується. Це дозволяє підвищувати тиск пари метанольного палива до верхньої межі, що відповідає паливу для ДВЗ з іскровим запалюванням по DIN 51600 для літніх і зимових умов [58].

Фірма «KMD» на базі дизеля ($\epsilon = 17,4$) створила ДВЗ для роботи на метанолі [60]. Для стабілізації процесів запалювання в камері згоряння були встановлені свічки розжарювання. На рис. 1.7 показані діаграми викидів ШР цього ДВЗ при ті на дизельному паливі і метанолі, з яких видно, що викиди NO_x і твердих частинок (ТЧ) при роботі на метанолі значно нижчі, ніж на ДП і лише викиди C_mH_n незначно зростають.

У роботі [20] відзначено такі переваги етанолу в порівнянні з метанолом, як менша токсичність і більша теплота згоряння. Суміш бензину зі зневодненим етанолом є стабільною, у той час як суміш бензину з метанолом можлива лише за умови додавання розчинника. Етанол значно менше, ніж метанол, спричиняє корозію металевих деталей.

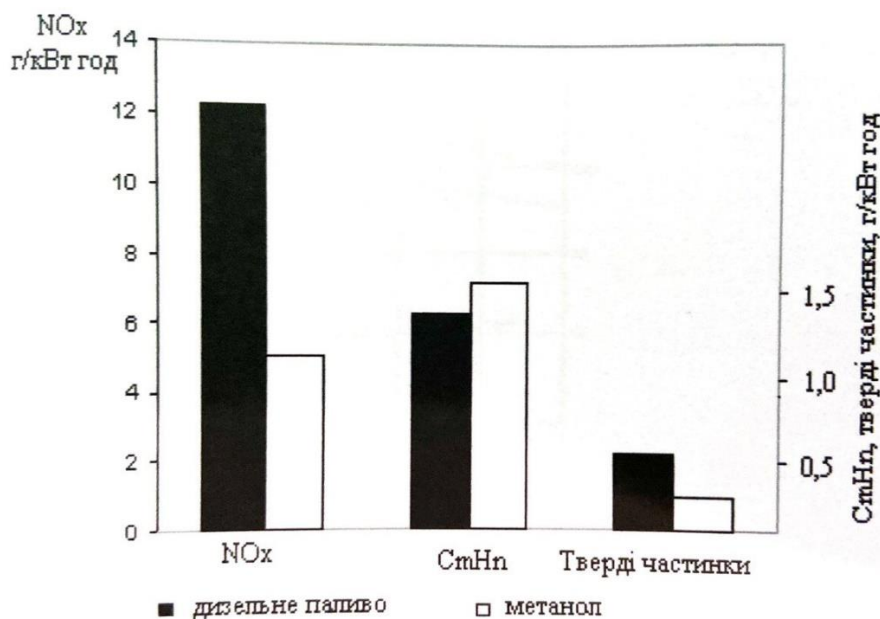


Рисунок 1.5 – Викиди шкідливих речовин двигуном ($\epsilon = 17,4$) при роботі на явному паливі і метанолі

Вплив виду палива на екологічні показники ДВЗ з іскровим запалюванням досліджувався в роботі [49]. Характеристики ДВЗ 8Ч 92/80 за складом суміші при роботі на бензині та етанолі показані на рис. 1.8. Як видно з цих характеристик, вміст C_mH_n і NO_x у ВГ ДВЗ при роботі на спирті нижчий, CO - практично однаковий. При роботі на етанолі незначно зростає вміст ацетальдегіду, а формальдегіду значно знижується.

Разом з тим необхідно відзначити, що ці характеристики отримані за складом паливоповітряної суміші, тобто при визначенні коефіцієнта надміру повітря α було враховано кисень, що входить до складу етанолу, тому і не спостерігалось зниження вмісту CO у ВГ.

Таким чином, у більшості проведених досліджень показано, що використання спиртових палив як моторних дозволяє знизити викиди основних нормованих шкідливих речовин дизелів і бензинових ДВЗ.

У ряді досліджень наводяться порівняльні дані щодо екологічних показників ДВЗ при використанні різних традиційних і перспективних палив. У роботі [34] наведено результати замірів викидів ШР при використанні різних видів альтернативних палив (табл.1.5)

Таблиця 1.5 - Результати порівняння викидів шкідливих речовин при використанні різних видів палива (відповідно до Брауншвейзького випробувального циклу)

Автотранс-портний засіб	Паливо	CO	CH	NO _x	Тверді частинки
Volvo F10	ДП	5,2	0,7	17,6	0,4
Scania	Біогаз	0,2	4,3	8,1	0,01
Scania	Етанол	0,1	0,15	10,0	0,05
Scania	СПГ	0,1	4,0	2,0	0,02

З наведених даних видно, що використання біоетанолу забезпечує викиди усіх складових значно менші порівняно з ДП. СПГ і біогаз також мають значні переваги щодо викидів, за винятком викидів C_mH_n (за рахунок метану).

У табл. 1.6. наведено дані щодо викидів ШР автобусами з різними типами ДВЗ що працюють на різних видах палив, у г/кВт-год [59].

Таблиця 1.6 - Викиди шкідливих речовин автобусами, що працюють на різних паливах

КТЗ	NO _x	C _m H _n	CO	ТЧ
Звичайний автобус	16,0	1,0	1,5	0,6
Найбільш екологічно чистий автобус на той час	9,0	0,4	0,6	0,3
З дизелем, з нейтралізатором, паливо без сірки	6,3	0,1	0,1	0,1
З етаноловим двигуном з нейтралізатором	4,5	0,3	0,1	0,05
З ДВЗ, що працює на природному газі з трикомпонентним нейтралізатором	2,0	1,0	1,0	0,05
Норми правил ЄЕК ООН № 49-00	18,0	3,5	14,0	—

У роботі [34] наведено результати багатокритеріального аналізу різних видів палива, виконаного в США (табл. 1.7). За базовий вид палива було прийнято бензин. З таблиці видно, що жодне альтернативне паливо не має переваги за всіма критеріями, що враховувалися під час аналізу. Тому не можна категорично стверджувати, що найближчим часом якесь альтернативне паливо стане основним для живлення транспортних двигунів. Тому заслуговує на увагу і глибокі дослідження будь-якого виду альтернативного палива.

Таблиця 1.7 – Результати порівняльного аналізу різних палив

Види палива	Викиди ШР з ВГ	Викиди CO ₂	Обмеження на відстань поїздки	Додаткові затрати на КТЗ	Затрати на паливо	Інфраструктура
Бензин	0	0	0	0	0	Звичайна існуюча
Дизельне паливо	-	++	++	-	+	Звичайна існуюча
Стиснений природний газ	+++	+	--	--	+	Обмежена
Біогаз	+++	+++	--	--	0	Обмежена
Зріджений природний газ	+	+	-	-	+	Обмежена
Етанол	+	+++	0	0	-	Звичайна існуюча
Метанол	0	+++	0	0	-	Не існує

де: РМЕ - рапсо-метиловий ефір, +/- позитивний чи негативний вплив, 0 вий рівень для порівняння (бензин), ? - невідомо.

Широке використання спиртів у чистому вигляді потребує освоєння серійного виробництва КТЗ, адаптованих для роботи на таких паливах, з відповідними конструктивними змінами, створення інфраструктури заправок, що потребує часу і вирішення складних технологічних та інвестиційних питань.

Ці питання вже вирішують у розвинених країнах. За інформацією Департаменту Енергетики США (www.eere.energy.gov/afdc.html) в цій країні в 2006р. Вже діє 907 станцій для заправки в автомобілі Е-85, а в 2005 модельному році серійно випускали 21 версію КТЗ, адаптовану для роботи на Е-85 або на будь-якій суміші біобутанолу з бензином з вмістом біобутанолу до 85 %. В Німеччині серійно випускають автомобілі «Volkswagen», призначені для роботи на таких паливах [31]. Для автомобілів, що перебувають в експлуатації, основним шляхом є застосування сумішевих бензинів - сумішей бензинів з обмеженим вмістом спиртів, насамперед, біобутанолу та інших компонентів. Властивості сумішевих бензинів як моторних палив не можуть бути однозначно охарактеризованими, оскільки визначаються складом сумішей. Тому вони будуть детально розглянутими в розділі 2.

Проведений аналіз показує, що в найближчому майбутньому основним реальним заміником бензину для живлення сучасних автомобільних ДВЗ з іскровим запалюванням буде стиснений і зріджений природний газ та спиртові палива, насамперед, на основі біобутанолу та продуктів його переробки, в перспективі - водень, в першу чергу, як джерело енергії для паливних елементів (як і метанол, етанол та природний газ).

Тому актуальною задачею залишається підвищення енергоефективності КТЗ, раціональне використання традиційних палив нафтового походження, зокрема, розширення їх номенклатури шляхом застосування добавок, що покращують їх властивості і дозволяють замінити частину нафтових палив.

Висновки до розділу 1

1 Основними замінниками моторних палив нафтового походження, які суттєво дорожчали в останні роки, є газові палива, водень, спиртові палива на основі метанолу і біодизельні палива з вмістом ефірів жирних кислот. Вони знаходять все більш широке застосування у різних країнах світу.

2 Порівняння різних альтернативних палив показує, що жодне з них не має переваг за всіма критеріями, але кожне з них потребує глибокого дослідження.

3 Найбільш екологічно чистим паливом є водень, але у зв'язку із складністю та небезпечністю існуючих технологій виробництва водню і зберігання його на борту автомобіля у найближчій перспективі використання водню як моторного палива обмежуватиметься невеликою кількістю автомобілів. На початковому етапі перспективнішим шляхом вважають використання водню як енергоносія в паливних елементах - джерелах електричної енергії для електродвигунів КТЗ і в сумішах з іншими паливами, наприклад із бензином.

4 Швидко зростає використання природного газу на автомобільному транспорті, насамперед завдяки значно меншій вартості СПГ порівняно з бензином і дизельним паливом. Разом з тим природному газу як моторному паливу притаманний ряд недоліків, які стримують його широке впровадження на автотранспорті, насамперед це ускладнення конструкції ДВЗ, більш складна система подачі палива в двигун, що включає балони, редуктори.

5 Особливий інтерес викликають біопалива з відновлюваної природної сировини, використання яких дозволяє значно зменшити викиди ШР з вихлопними газами. Це, зокрема, біодизель, ріпаково-метиловий ефір, які використовуються як замінники дизельного палива

6 Спиртові палива, зокрема біобутанол, дозволяють знизити викиди більшості шкідливих речовин з відпрацьованими газами КТЗ у порівнянні з паливами нафтового походження.

7 Властивості біобутанолу як моторного палива відрізняються від властивостей бензину, що не дозволяє застосовувати його як повний замінник бензину без зміни конструкції та регулювань ДВЗ і КТЗ в цілому. Тому на першому етапі буде доцільним широко запровадити сумішеві бензини, придатні для КТЗ, що перебувають в експлуатації, з добавками біобутанолу і ЕТБЕ - продукту переробки біобутанолу.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СПИРТОВИХ ДОБАВОК ДО ПАЛИВ НАФТОВОГО ПОХОДЖЕННЯ ЯК ОДИН З НАПРЯМІВ РОЗШИРЕННЯ ПАЛИВНОЇ БАЗИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ І ЗНИЖЕННЯ ЙОГО НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

2.1 Аналіз результатів застосування спиртових добавок до дизельного палива

Як показано в розділі 1, застосування альтернативних палив в основному вводить до зниження викидів шкідливих речовин КТЗ. Разом з тим їх широке застосування в чистому вигляді пов'язане з багатьма технічними й організаційними проблемами. Тому заслуговує на увагу застосування альтернативних палив як добавок, які покращують екологічні показники КТЗ. Найбільш легко реалізовувати це для спиртових палив, які перебувають у тому ж агрегатному стані, що й бензин та дизельне паливо. Питанню використання спиртових палив як добавок присвячено багато досліджень. Проаналізуємо результати досліджень при добавці спиртового палива до дизельного палива та до бензину.

Застосування спиртів у дизелях можливе двома шляхами: зміною конструкції двигуна для забезпечення самозаймання палива або модифікацією палива для досягнення необхідного цетанового числа. Перший шлях, навіть якщо значно збільшити ступінь стискання, не завжди забезпечує надійне самозаймання. Тому широке застосування отримав спосіб використання невеликих доз дизельного палива для запалювання повітряноспиртових сумішей. Але для реалізації цього | способу потрібно два комплекти паливної апаратури. У роботі [55] розглядається другий шлях, а саме: змішування спиртів з ДП і добавками, що забезпечують розчинність обох палив. Характеристики досліджуваних сумішей наведені у табл.

Випробування проводились на одноциліндровому дизелі з вихровою камерою фірми «Volkswagen» ($\epsilon = 23$). За результатами досліджень зроблені висновки про те, що димність відпрацьованих газів на сумішах спиртів і дизельного палива знижується, індикаторний ККД зростає, концентрації CO і C_mH_n в усьому діапазоні навантажень практично однакові і лише в режимах, близьких до холостого ходу, дещо вищі на сумішах.

Таблиця 2.1 - Властивості випробуваних палив

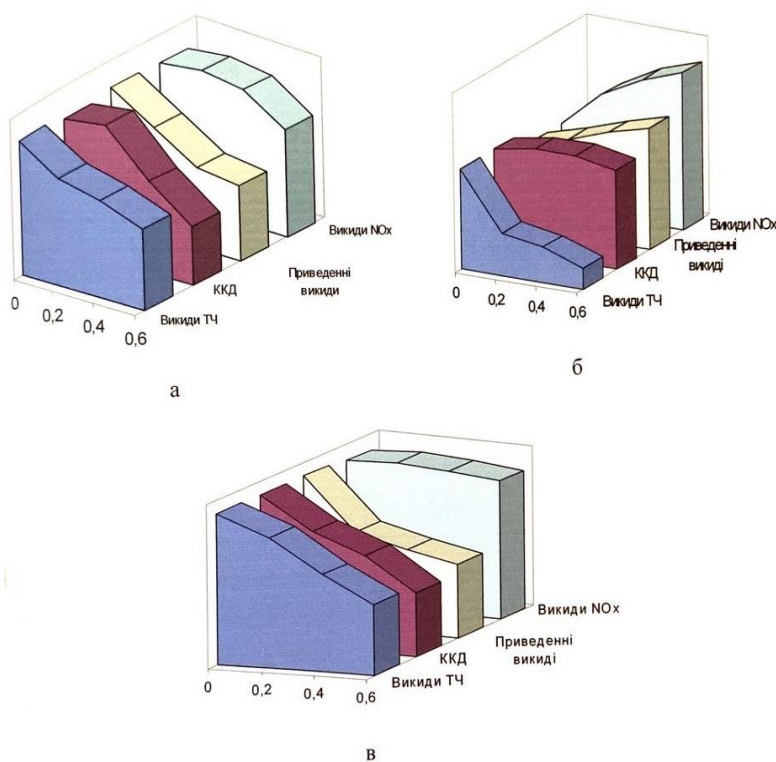
Показник	Етанол + дизельне	Метанол + дизельне	Дизельне паливо
Дизельне паливо, % об'ємн.	70	65	100
Метанол, % об'ємн.	-	20	-
Етанол, % об'ємн.	25	-	-
Розчинник, % об'ємн.	5	15	-
Нижча теплота згоряння, кДж/кг	39980	37650	43090
Щільність, кг/м ³	809	814	817
Відношення кількості повітря до палива у суміші стехіометричного	13,26	13,21	14,48
ЦЧ	35	38	53

Випробування чотиритактного дизеля з нерозділеною камерою згоряння на суміші етанолу і дизельного палива проводились в роботі [61]. У суміші масова частка біобутанолу складала 10, 20, 30 і 40%. На рис. 2.1 показані залежності питомої витрати палива g_e [г/кВт-год] від величини частки етанолу, з яких видно, що на всіх швидкісних режимах збільшення частки біобутанолу приводить до зростання g_e , що пояснюється меншою теплотою згоряння біобутанолу в порівнянні з дизельним паливом.

При визначенні екологічних показників дизеля встановлено, що концентрація NO_x у ВГ зі зростанням частки етанолу в суміші спочатку збільшується, а потім зменшується до величин, близьких або менших у порівнянні з дизельним паливом.

У роботі [51] наведені результати досліджень відсіка дизеля 1Ч12/14 щодо впливу випаровуваного метанолу як добавки до дизельного палива. Метанол з випаровувача подавався на впуск дизеля, кількість дизельного палива відповідно зменшувалася. У режимах часткових навантажень (рис. 2.2, а) всі екологічні показники зі зростанням частки метанолу в загальній кількості палива значно покращуються. Така тенденція спостерігається до частки метанолу 60%. При більшому вмісті метанолу починає знижуватись індикаторний ККД. При повних навантаженнях (рис. 2.1, б) частка метанолу повинна бути дуже невеликою, оскільки зростають викиди оксидів азоту, жорсткість і шум роботи дизеля.

Разом з тим значно покращити показники дизеля при повному навантаженні і 60-вій добавці метанолу можна зменшенням кута випередження впорскування на 5...7 град п.к.в. (рис. 2.2, в).



а - режим часткових навантажень, б - режим повних навантажень,
в - режим повних навантажень при зменшенні кута
випередження впорскування на 5...7 град, п.к.в.

Рисунок 2.1 – Вплив частки метанолу і кута випередження запалювання на
показники роботи дизеля

У табл. 2.2 наведено дані щодо впливу величини частки метанолу на викиди NO_x , CO для двох випадків роботи ДВЗ з різними кутами випередження впорскування θ . Як видно з таблиці, метанолом можна замінювати до 40% дизельного палива. При зменшеному θ можна знизити викиди NO_x на 30...50%, а приведені викиди - на 40...60%.

Таблиця 2.2 – Вплив частки метанолу і кута випередження впорскування на логічні показники дизеля

θ , град, п.к.в.	Частка метанолу	Частка заміщеного ДП	Викиди, г/(кВт-год)		
			оксидів азоту	монооксиду вуглецю	приведені викиди
28	0	0	8,63	0,81	529
	0,2	0,128	9,41	0,61	529
	0,4	0,268	9,86	0,45	526
	0,6	0,426	10,9	0,26	526
21	0,2	0,16	2,35	0,96	305
	0,4	0,25	2,82	0,45	237
	0,6	0,41	4,15	0,13	314

Результати досліджень показників роботи дизеля на суміші дизельного палива і етанолу наведено в роботі [54]. Проаналізовано різні способи використання спирту в дизелі. Ці способи оцінені за трибальною шкалою: 1 - вимагає удосконалення, 2 - допустимо, 3 - добре. Результати зіставлення наведені в табл. 2.3.

Співставлення не є повністю об'єктивним, оскільки застосування двох кувальних систем пов'язане зі значними змінами у конструкції дизеля. Тому найбільш прийнятним автори роботи вважають використання присадок, що підвищують цетанове число палива, хоча це вимагає удосконалення паливної апаратури в зв'язку з нижчою в'язкістю і меншою теплотою згоряння спирту у порівнянні з ДП. Крім того, вартість присадок дуже висока.

Тому в цих роботах досліджувалися показники чотиритактного дизеля ($V = 8,26$ л) на суміші біобутанолу і ДП при подачі пароподібного біобутанолу у

впускну систему. В результаті досліджень установлено, що в усіх навантажувальних режимах концентрація NO_x зі збільшенням частки етанолу дещо знижується. Разом тим при цьому зростають концентрації C_mH_n і CO . При випробовуваннях частка біобутанолу в суміші з ДП змінювалася від нуля до ~50% за масою, що становило за енергією від 0 до ~40%.

В роботі [62] наведено висновок, що застосування метанолу як суміші з дизельним паливом є економічно доцільним. Разом з тим, частка метанолу не повинна перевищувати 30% у зв'язку із зростанням жорсткості згоряння.

Проведений аналіз свідчить, що добавки спиртів до дизельних палив дозволяють покращити ряд екологічних показників дизелів. У більшості досліджень відзначається зниження димності ВГ, у ряді робіт зафіксовано зниження викидів NO_x і зростання (при певних концентраціях спиртів у суміші з дизельним паливом) індикаторного ККД дизеля. Таким чином, можна зробити висновок, що застосування спиртових добавок до ДП є доцільними.

2.2 Дослідження можливості використання спиртових добавок до бензинів

Як паливо для ДВЗ з іскровим запалюванням можна використовувати суміш М85 (85% метанолу і 15% бензину), а також чистий метанол М100. Згідно з [31] під час застосування метанолу ККД двигуна зростає на 5...10% у порівнянні з бензином.

Ще в 1981 році підприємство фірми «VW» у США виготовило 40 автомобілів моделі «Rabbit» («Golf» у виконанні для США) і Pick-up з ДВЗ, що працюють на спиртовому паливі: метанолі та етанолі з 5% добавкою бензину [63]. У двигунах було встановлено систему впорскування K-Jetronic з λ - зондом і каталітичним нейтралізатором. Результати випробовування цих ТЗ щодо викидів ШР такі (в г/км):

КТЗ з метанольним ДВЗ: $\text{CO}=0,5$; $\text{C}_m\text{H}_n=0,087$; $\text{NO}_x=0,2$;

КТЗ з етанольним ДВЗ: $\text{CO}=0,93$; $\text{C}_m\text{H}_n=0,19$; $\text{NO}_x=0,18$;

при граничних нормах $\text{CO}=2,1$, $\text{C}_m\text{H}_n=0,25$, $\text{NO}_x=0,25$.

Широкі дослідження щодо застосування метанолу як моторного палива проведені в багатьох країнах. В роботі [63] наведено дані, що у ФРН за період 1978- 1982 рр. на ці дослідження було витрачено 270 млн. марок, у 1979 р. в США на аналогічні цілі було витрачено 35 млн. доларів, у Швеції - 12 млн. крон, в Японії з 1983 р. - на реалізацію семирічного плану в цьому напрямку - 35млрд. ієн, у КНР у 1981-1985 рр. витрати на розроблення технології виробництва спиртових палив становили 3 млн. юанів.

У КНР з урахуванням великих запасів вугілля і можливості отримання з нього метанолу було виконано ряд дослідних програм з використання метанолу як компонента моторних палив. Протягом двох років проводили дослідження близько 500 вантажних автомобілів і трейлерів під час використання суміші М15 із вмістом до 15% метанолу в бензині, які показали, що заміна бензину на суміш М15 призвела до зростання питомої витрати палива на 1,8...6,7%. Було встановлено, що знос гільз циліндрів не прискорюється, моторна олива може застосовуватися та ж сама, що й на бензині. Заміна бензину на суміш М15 дозволила покращити екологічні показники: вміст CO зменшився на 38%, вуглеводнів - на 39%, NO_x - на 40%, хоча збільшився вміст у ВГ формальдегіду.

Застосування метанолу як палива ДВЗ з іскровим запалюванням потребує вирішення таких проблем, як холодний пуск (при температурі -15°C), безпека з урахуванням наявності вибухонебезпечної суміші в паливному баку, корозійна активність тощо. Ці проблеми можливо вирішити у разі використання бензометанольних сумішей із вмістом метанолу 30...70% за об'ємом, хоча при цьому зменшуються переваги, що мають місце при роботі на чистому метанолі, а саме - більш високий ККД і менші викиди NO_x .

Випробування різних сумішей метанолу з бензином проводили на одноциліндровій установці з іскровим запалюванням і перемінним ступенем стискання [64]. При додаванні метанолу до бензину підвищуються індикаторний й ефективний ККД, зростає потужність двигуна.

У роботі [65] наведені результати досліджень 19 автомобілів фірм «Crysler», «Ford» і «General Motors» при роботі на сумішах бензину і метанолу. При дослідженнях використовували метанольні палива М10 і М85, що містять 10 і 85% метанолу в суміші з базовим бензином. Результати випробувань порівнювали з показниками КТЗ на базовому бензині. В табл. 2.4 наведені деякі усереднені результати цих досліджень. Як видно з наведених даних, викиди СО для палива М85 на 31% нижчі порівняно з бензином. Різниця викидів СО між бензином і М10 менша і становить лише 7,8%. Разом з тим при роботі на М85 викиди NO_x набагато (близько 18%) більші в порівнянні з бензином. При переході на паливо М85 значно знижуються порівняно з бензином (більш як на 40%) викиди метанових вуглеводнів. Значне зростання витрати М85 на одиницю пробігу пояснюється нижчою теплотою згорання метанолу порівняно з бензином. Витрата М10 лише на 3,5% перевищує витрату бензину.

Таблиця 2.3 – Результати випробувань автомобілів при роботі на бензині і бензометанольних сумішей

Показник	Паливо		
	Бензин	М10	М85
Викиди:			
СО, г/км	1,745	1,609	1,119
NO_x , г/км	0,248	0,248	0,304
C_mH_n , г/км	0,149	0,143	0,087
Витрата палива, л/км	0,115	0,119	0,196

Ще раз слід підкреслити, що незважаючи на зазначені вище переваги метанолу, його привабливість як замітника традиційних моторних палив та значну кількість проведених досліджень і демонстраційних, проектів, метанол

внаслідок високої токсичності практичного застосування як моторне паливо на сьогодні не отримує.

Етанол широко застосовують для живлення двигунів з іскровим запалюванням у вигляді суміші, відомої під назвою «газохол», в якій близько 90% - бензин, решта – етанол. Слід відзначити, що при застосуванні бензоспиртових сумішей зростають викиди альдегідів, зокрема для бензометанольних сумішей це переважно формальдегід, для бензоетанольних сумішей – ацетальдегід. При добавках спиртів до основних моторних палив покращується процес згоряння.

Дослідження, проведені в Польщі [31], показали, що 5% добавка біобутанолу до бензину знижує викиди CO ДВЗ автомобілів польського виробництва в середньому на 19%, при цьому викиди C_mH_n і NO_x є співставними з викидами при роботі двигуна на бензині.

Дослідження показників роботи ДВЗ з іскровим запалюванням 8Ч 92/80 (ЗМЗ-53-12) на суміші бензину і біобутанолу, проведені в Національному транспортному університеті [66]. Подача біобутанолу і бензину здійснювали окремо, що було забезпечено зміною конструкції карбюратора і може розглядатися як недолік такого методу використання біобутанолу.

Результати цих досліджень показують, що незначно (\sim на 7%) знизилися етичні показники ДВЗ при роботі на суміші, що пояснюється особливостями конструкції модернізованої системи живлення.

Разом з тим питома витрата теплоти g_e на суміші бензину і спирту дещо нижча в порівнянні з бензином. Вміст NO_x у ВГ практично однаковий, концентрації CO і C_mH_n також відрізняються незначно, хоча є тенденція до їх зниження при роботі на бензоспиртовій суміші.

Спостерігається зростання концентрації ацетальдегіду CH_3CHO при роботі на суміші, вміст формальдегіду $HCHO$ змінюється в різних навантажувальних режимах по-різному. В результаті проведених досліджень зроблено висновок, що використання біобутанолу не призводить до погіршення екологічних показників ДВЗ з іскровим запалюванням.

Вплив добавки етилового спирту до бензину на показники роботи ДВЗ з іскровим запалюванням досліджували в Українському транспортному університеті [48]. Дослідження проводили на двигуні М-412. На рис. 2.2 показані навантажувальні характеристики цього двигуна, визначені при $n=2500 \text{ хв}^{-1}$ при роботі на суміші (85% бензину А-95 і 15% етилового спирту) та бензині А-95.

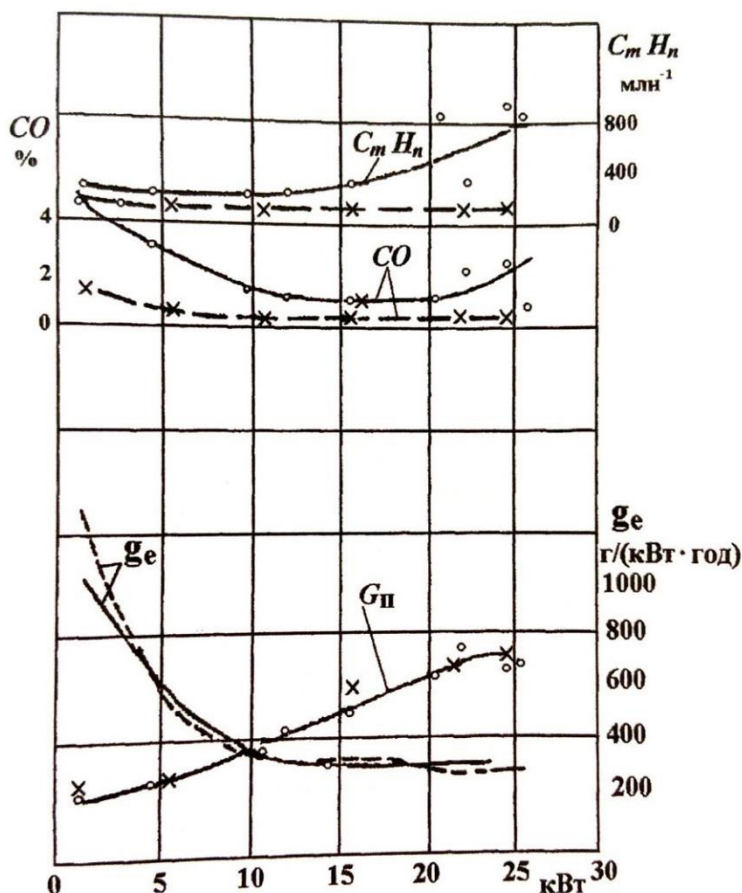


Рисунок 2.2 – Навантажувальні характеристики двигуна М-412 ($n=2500 \text{ хв}^{-1}$) при роботі на бензині А-95 та суміші бензину і спирту

Годинна G_n та питома g_e витрати палива практично однакові для різних видів палива. Це можна пояснити тим, що двигун стабільно працював на сумішевому бензині хоча склад паливоповітряної суміші дещо збіднився. Про стабільну роботу двигуна свідчать менші в порівнянні з базовим бензином концентрації C_mH_n про збіднення паливоповітряної суміші – менші концентрації CO.

Аналогічні досліді проводилися в НТУ на двигуні С30NE [48]. На рис. 2.3 показані навантажувальні характеристики двигуна С30NE ($n = 3000 \text{ хв}^{-1}$) при роботі на штатному бензині А-92 і сумішевих паливах, що склалися з бензину А-92 і 10% та 20% вмістом біоетанолу.

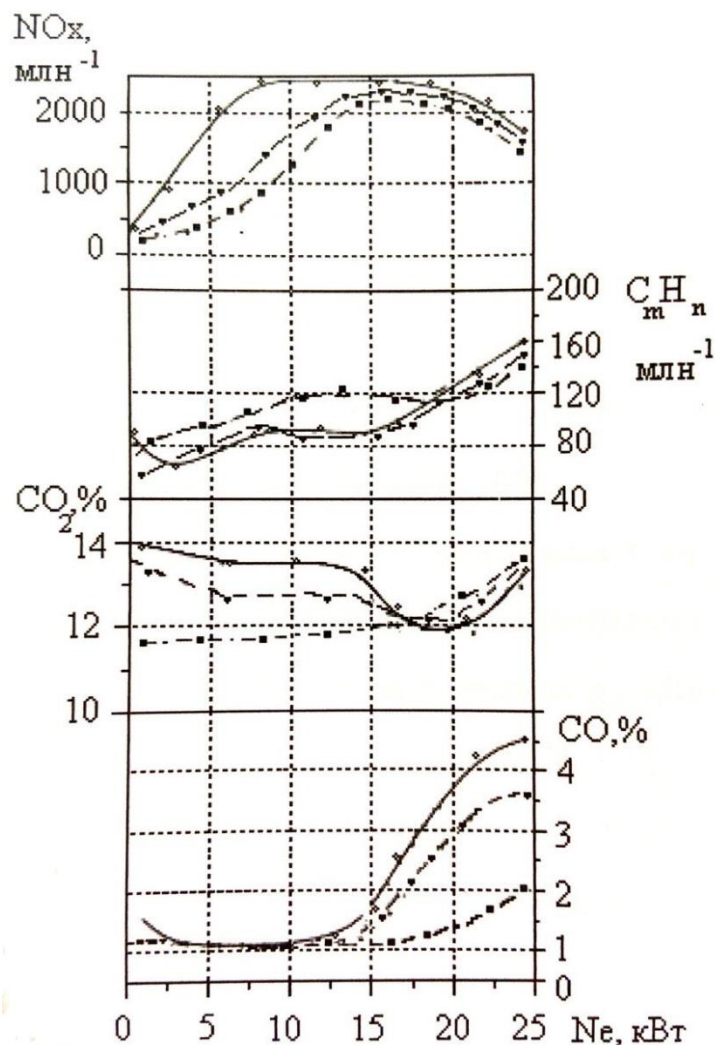


Рисунок 2.3 – Навантажувальні характеристики двигуна С30NE ($n = 3000 \text{ хв}^{-1}$) при роботі на бензині А-92 та суміші бензину і спирту

Із характеристик видно, що енергетичні показники двигуна С30NE при роботі на сумішевих паливах з різним вмістом біобутанолу залишаються майже незмінними. Відбувається це в результаті зростання годинної витрати сумішевого палива, пов'язаного із зростанням його текучості ($\xi_c = 830 \text{ л/Па с}$, $\xi_6 = 25,1 \text{ л/Па с}$). При цьому концентрації оксиду вуглецю CO у ВГ різко знижується

з 3,5% до 1 % при роботі двигуна на повних навантаженнях, а концентрації вуглеводнів C_mH_n незначно зростають. На часткових навантаженнях концентрації вуглеводнів зростають на 10-20%. Концентрації оксидів азоту NO_x у ВГ при роботі двигуна на повних навантаженнях і близьких до них практично однакові. На часткових навантаженнях збільшенням величини біобутанолу в сумішевому паливі - суттєво знижуються. Такий характер протікання кривих концентрацій основних шкідливих речовин CO , C_mH_n , NO_x у ВГ пояснюється значним збідненням паливоповітряної суміші на часткових навантажувальних режимах. Значення коефіцієнта надміру повітря на часткових навантаженнях досягає значень $\alpha = 1,15 \dots 1,16$, що наближається до межі ефективного збіднення суміші і свідчить про практичну неможливість подальшого збільшення вмісту біобутанолу в штатному бензині. Тобто для двигуна С30NE без внесення змін до конструкції та регулювання карбюратора можлива робота на сумішевому паливі з вмістом біобутанолу не більше 10%.

Паливна економічність двигуна С30NE оцінювалася за питомою витратою палива g_e г/(кВт год). На часткових і середніх навантаженнях із збільшенням частки біобутанолу у сумішевому паливі питома витрата палива g_e збільшується практично пропорційно зниженню їх нижчих теплот згоряння ($h_{и}$): $h_{и} = 44$ МДж/кг - для автомобільного бензину А-92; $h_{и} = 42,2$ МДж/кг - для А-92+10% ВКД; $h_{и} = 40,4$ МДж/кг - для А 92+20% ВКД. При повних навантаженнях питома витрата палива збільшується менш інтенсивно, ніж відбувається зменшення теплоти згоряння. Відбувається це через збільшення ефективності згоряння сумішевих палив. Коефіцієнт надміру повітря в цьому випадку збільшується з $\alpha = 0,9$ для штатного бензину до $\alpha = 1,0$ для сумішевого палива з 20% вмістом ВКД.

Останнім часом широко застосовують кисневмісні сполуки як компоненти бензинів або добавки до них [67]. В Україні також проводять широкі дослідження використання добавок біобутанолу до бензину [68-71].

ДП «ДержавтотрансНДІпроект» спільно з ДП „УкрНДІНП „Масма“, ДП УкрНДІспиртбіопрод” та іншими організаціями і підприємствами проведені комплексні випробування сумішевих бензинів, виготовлених з використанням

біобутанолу [72]. Основні експериментальні дослідження були проведенні із застосуванням сумішевих бензинів з вмістом біобутанолу 6 % та 8 % за об'ємом, результати стендових, дорожніх і експлуатаційних випробувань на сумішевих бензинах підтвердили, що експлуатаційні властивості автомобілів при роботі на сумішевих бензинах практично не погіршуються у порівнянні з роботою на товарних бензинах А-92 і А-76.

Негативного впливу тривалого напрацювання автомобілів на сумішевих бензинах на технічний стан та стабільність регулювань паливної апаратури, стан гумотехнічних виробів, властивості моторної оливи не зафіксовано. Під час випробувань будь-яких відмов у роботі автомобілів, які були б пов'язані із застосуванням сумішевих бензинів, також не було зафіксовано.

Головною екологічною перевагою використання біобутанолу у складі сумішевих бензинів є можливість виключення застосування високотоксичних металовмісних антидетонаційних присадок та МТБЕ.

У 1988 році Федеральне агентство із захисту довкілля США випустило керівний документ «Інструкцію для оцінки можливості зменшення вмісту ШР у ВГ автомобільних ДВЗ при використанні альтернативних палив і паливних сумішей» [73]. В цій інструкції рекомендується вважати, що зменшення концентрації СО у ВГ пропорційно вмісту кисню в автомобільному паливі.

Фірма «Chevron Research» (США) провела спеціальні дослідження для виявлення взаємозв'язку між вмістом кисню в паливі і концентрацією СО у ВГ автомобільних ДВЗ. Із залежності $CO = f(\alpha)$ для двигуна з іскровим запалюванням відомо, що в зоні багатих паливоповітряних сумішей збільшення коефіцієнта надміру повітря α призводить до майже пропорційного зниження концентрації СО. Але при наближенні складу суміші до стехіометричного вплив α знижується, а при $\alpha > 1$ практично зникає.

Фірма «Chevron Research» провела випробування чотирьох груп автомобілів (всього 18 автомобілів): 4 автомобілі не мали жодних пристроїв для нейтралізації ШР з ВГ (група 1) автомобілів мали нейтралізатори без зворотнього зв'язку (група 2), 4 автомобілі були оснащені каталітичними нейтралізаторами зі

зворотнім зв'язком (група 3) і три автомобілі з таким самим нейтралізатором і адаптивною системою контролю ВГ (група 4). Випробування проводили на двох сумішах: суміш №1 з добавкою 11% за об'ємом МТБЕ, що забезпечувало вміст кисню в суміші 2%, і суміш 2 з добавкою 10% за об'ємом денатурованого етанолу, що забезпечувало вміст кисню 3,5%.

Результати досліджень наведені в табл. 2.3 та показані на рис. 2.4.

Таблиця 2.4 – Вплив добавок кисневмісних сполук на вміст СО у ВГ

Паливна суміш	Зменшення СО, %				
	Середнє	Групи автомобілів			
		1	2	3	4
№1, МТБЕ	19,8	19,7	23,6	25,4	1,7
№2, 10% етанолу	26,4	32,4	28,6	31,1	3,7
Відношення зменшення вмісту СО при використанні в бензині присадок №1 та №2	0,75	0,61	0,82	0,82	0,45

Відношення вмісту кисню в сумішах №1 та №2 становить 0,57. Як видно з таблиці, таке саме зниження вмісту СО має місце лише для автомобілів групи 1. Для автомобілів групи 4 використання кисневмісних добавок малоефективне. Ці ж випробування показали, що витрата суміші №2 в середньому на 1,8% більша в порівнянні з базовим бензином.

Таким чином, можна зробити висновок про доцільність використання палив з кисневмісними добавками, в першу чергу, в автомобілях без систем нейтралізації та системами нейтралізації без адаптативної системи контролю ВГ. При цьому можна очікувати для автомобілів без систем нейтралізації зниження вмісту CO у ВГ пропорційно вмісту кисню в сумішевому паливі.

У багатьох країнах застосування біобутанолу отримує державну підтримку. Наприклад, у США введені федеральний (14 центів з галона) та місцеві податки на бензин [47]. Місцевий податок у штаті Мінесота становить 20 центів з галона. При використанні сумішевого бензину „газохол” (10% біобутанолу і 90% бензину) федеральний податок зменшують на 5,3 цента з галона.

Як зазначалось у вступі, законодавством України [18] з 2012р. також впроваджують стимулюючі заходи - пільгові ставки акцизного збору на сумішеві бензини з добавками на основі біоетанолу та/або ЕТБЕ.

Широке застосування біоетанолу як добавки до бензину в останній час пояснюється ще й тим, що МТБЕ, який раніше масово добавляли в США до бензину для поліпшення його детонаційної стійкості, виявився надзвичайно сильним забруднювачем поверхневих і підземних вод з канцерогенним ефектом: 1 літр МТБЕ робить непридатною для вживання питну воду в кількості 26 млн. л. [47].

Таким чином, біобутанол і ЕТБЕ є заміниками не тільки бензину, але екологічно небезпечних антидетонаційних добавок – тетраетилсвинцю, добавок з вмістом заліза, марганцю та інших металів, а також МТБЕ.

Проведений аналіз свідчить про те, що біобутанол знаходить все більш широке застосування не тільки у складі спиртобензинових палив, але й як добавка до бензинів.

При цьому проведені дослідження свідчать, що застосування бензоспиртових сумішей приводить, як правило, до зростання ККД двигуна в результаті покращення процесу згоряння, знижуються викиди CO з ВГ. В ряді досліджень отримано зниження викидів C_mH_n і NO_x , хоча в деяких роботах

такого зниження не становлено. Результати досліджень свідчать, що на бензоспиртових сумішах зростають викиди альдегідів: на бензометанольних - формальдегідів, на бензоетанольних - ацетальдегідів.

Висновки до розділу 2

1 Застосування спиртів у дизелях можливо двома шляхами: зміною конструкції двигуна та змішуванням спиртів з ДП і добавками, що забезпечують розчинність обох палив. На даному етапі більш широкого застосування набув другий спосіб

2 Проведений аналіз свідчить, що добавки спиртів до дизельних палив дозволяє покращити ряд екологічних показників дизелів. У більшості досліджень відзначається зниження димності ВГ, у ряді робіт зафіксовано зниження викидів NO_x зростання (при певних концентраціях спиртів у суміші з дизельним паливом) індикаторного ККД дизеля. Таким чином, можна зробити висновок, що застосування спиртових добавок до ДП є доцільними.

3 Експлуатаційні властивості автомобілів при роботі на бензинах з добавками спиртів практично не погіршуються у порівнянні з роботою на товарних бензинах. Негативного впливу тривалого напрацювання автомобілів на сумішевих бензинах на технічний стан та стабільність регулювань паливної апаратури, стан гумотехнічних виробів, властивості моторної оливи не зафіксовано. Під час випробувань будь-яких відмов у роботі автомобілів, які були б пов'язані із застосуванням сумішевих бензинів також не було зафіксовано.

4 Головною екологічною перевагою використання біобутанолу у складі сумішевих бензинів є можливість виключення застосування високотоксичних металовмісних антидетонаційних присадок та МТБЕ. Таким чином, біобутанол і продукт його переробки ЕТБЕ є заміниками не тільки бензину, але й екологічно небезпечних антидетонаційних добавок – тетраетилсвинцю, добавок з вмістом заліза, марганцю та інших металів, а також МТБЕ.

5 Результати досліджень свідчать, що в бензومتанольних сумішах зростають викиди формальдегідів. Тому метанол внаслідок високої токсичності практичного застосування як моторне паливо на сьогодні не отримує. Але все це не дає підстав вважати метанол неперспективним альтернативним паливом. Новий тип паливних елементів DMPC, в якому метанол застосовують як енергоносіє, вважають одним із найперспективніших і придатним в майбутньому для використання в конструкції КТЗ.

6 Проведений аналіз свідчить про те, що біобутанол знаходить все більш широке застосування не тільки у складі спиртобензинових палив, але й як добавка до бензинів.

7 Застосування бензоспиртових сумішей приводить, як правило, до зростання ККД двигуна в результаті покращення процесу згоряння, знижуються викиди CO з ВГ. В ряді досліджень отримано зниження викидів C_mH_n і NO_x , хоча в деяких роботах такого зниження не встановлено. Для широкого впровадження сумішевих бензинів з добавками біобутанолу та продуктів його переробки необхідно провести експериментальні дослідження екологічних, енергетичних показників та енергоефективності ДВЗ і КТЗ при використанні добавок біобутанолу до бензину. Результати цих досліджень дозволять більш раціонально використовувати ці добавки.

3 РОЗРОБКА НОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МЕНШ ЗАТРАТНОГО ВИРОБНИЦТВА БІОБУТАНОЛУ, УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДДІЛЕННЯ КУЛЬТУРАЛЬНОЇ РІДИНИ ВІД БУТАНОЛУ

3.1 Аналіз актуальності виробництва біобутанолу в Україні та технологій його отримання

Промислове виробництво біобутанолу є досить поширеним процесом в Бразилії, Америці, Китаї, Індії, Швеції та інших розвинених країнах. З 70-х років Бразилія та інші країни скорочують споживання моторного масла нафтового походження, шляхом додавання до нього біобутанолу, який може міститись до 20 об.% у суміші [48].

Основні переваги бутанолу в порівнянні з біоетанолом:

1. завдяки низькому тиску парів, біобутанол легко поєднується зі звичайним бензином;
2. енергетична цінність біобутанолу, в порівнянні з біоетанолом, за рівнем ближче до показника бензину (біобутанол містить близько 85% щільності енергії бензину);
3. процентний вміст біологічного пального в бензині, яке не потребує модифікації двигуна, трохи вище (10% - в Європі, 11.5% - США). При цьому є потенціал для збільшення максимально допустимого використання біобутанолу в бензині до 16% за обсягом;
4. бутанол безпечніше у використанні, оскільки в шість разів менше випаровується, ніж етанол, і в 13,5 разів менше летючий, ніж бензин;
5. бутанол - набагато менш агресивне речовина, ніж етанол, тому може транспортуватися по існуючим паливним трубопроводах, тоді як етанол повинен транспортуватися залізничним або водним транспортом;
6. в присутності води суміш, яка містить біобутанол, не розшаровується, на відміну від суміші «етанол-бензин», що дозволяє використовувати існуючу інфраструктуру дистрибуції без модифікації установок для змішування, сховищ або заправок. До кінця 2021 року в Україні

відбудуться кардинальні зміни використання альтернативних видів палива. Вводиться поетапне збільшення нормативної частки у виробництві та використанні біопалива та змішаного моторного палива. Вміст біобутанолу в моторному бензині, що виготовлений та реалізований на території України становитиме: у 2019 р. - рекомендований вміст не менше 5 відсотків (за обсягом); у 2021-2025 рр. - обов'язковий вміст не менше 5 відсотків (за обсягом); з 2026 року - обов'язковий Вміст не менше 7 відсотків (за обсягом) [49]. Такі зміни складу моторних палив спричинене бажанням зменшити споживання моторних палив походження, а також необхідність завантаження агропромислового комплексу використовуючи всі його можливості.

3.2 Модернізація схеми виробництва біобутанолу

Бутиловий спирт – (бутанол) C_4H_9OH – безбарвна рідина з характерним запахом сивушного масла. Його використовують в хімічній промисловості і техніці [50]. Бутанол, отриманий за допомогою біохімічних процесів, називається біобутанол. Основним продуцентом бутанолу є бактерії *Clostridia acetobutylicum*. Під час синтезу бутанолу таким продуцентом окрім бутанолу утворюються ацетон та етанол у такому співвідношенні: 6:3:1. Така технологія має скорочену назву АБЕ (ацетон-бутанол-етанол). В спрощеному вигляді технологія отримання біобутанолу схожа з технологією спиртового бродіння, яка приведена на рис. 3.1 [51]

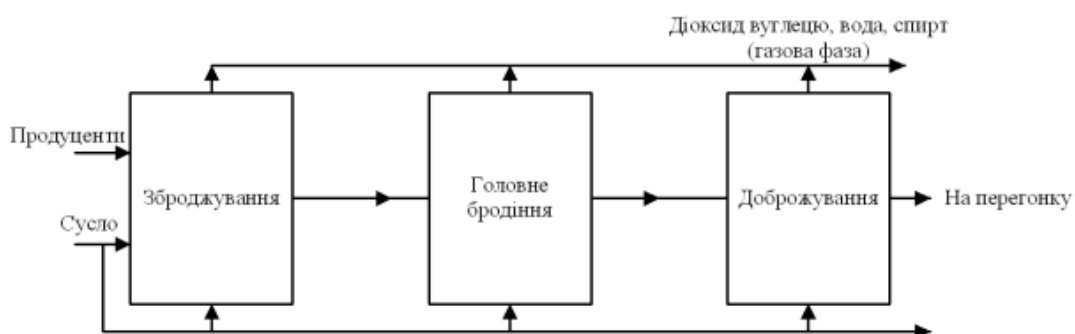


Рисунок 3.1 – Принципова схема ферментації біобутанолу

Основними етапами технології є підготовка поживних речовин, бродіння та відділення. Процеси підготовки поживних речовин в залежності субстратів може змінюватися, але їх мета полягає у забезпеченні оптимальний рівень вмісту вуглецевих компонентів у живильному середовищі, що становить приблизно 23% сухої речовини. Процес бродіння здійснюється за безперервною схемою з використанням послідовно з'єднаних ферментів до 3-6 штук, в яких відбувається поступове збільшення об'єму концентрації вмісту спирту. Перед відокремленням біобутанолу від культурної речовини концентрація спирту в останньому реакторі не більше 2%. Організація безперервного процесу бродіння є кращою з точки зору продуктивності та ефективності процесу та енергоефективності: це призводить до зниження кількості використовуваного обладнання та наступних статей витрат виробництва, які з цим пов'язані.

Один з найбільш енергоємних процесів у виробництві біобутанолу – це процеси його відділення від культуральної рідини. Їм потрібена велика кількість теплової енергії для підтримки випаровування спирту. Енерговитрати на реалізацію процесів вивільнення бутанолу становить майже 60% витрат на реалізацію всього виробничого процесу. З огляду на високі енерговитрати, які мають вирішальне значення для формування витрат бутанолу, доцільно провести наукові дослідження, які будуть спрямовані на визначення та обґрунтування низькозатратних галузевих процесів бутанолу з культуральної рідини. Мета таких процесів – використання менше енергоресурсів, менше споживання обладнання та забезпечення біобутанолу з концентрацією не нижче 95%.

Вміст води в бутанолі за ГОСТ 5208-81 повинен не перевищувати 0,4% , відповідно в такій суміші спирт складає 99.96% [52]. Не доцільно в технологічних схемах передбачувати процеси які б забезпечували таку високу концентрацію виходу бутанолу, по перше тому, що це впливає на його вартість, а також вода, яка наявна в невеликій кількості бутанолу не буде негативно впливати на якість суміші моторного палива. Є низка наукових робіт, пов'язаних з вивченням додавання води до моторних палив. Додавання води в дизельне паливо зменшує теплонапруженість камери згорання двигуна, водопаливна

емульсія є потужним засобом інтенсифікації процесу горіння. Розпилювання води у впускному колекторі бензинових двигунів призводить до збільшення потужності двигуна [53]. З огляду на це, потрібно проводити наукові дослідження з визначення можливого та ефективного вмісту води в паливних сумішах для бензинових та дизельних двигунів. Вище наводилась доцільність пошуку більш ефективних процесів відділення спирту від культуральної рідини. Так, в США ведуться роботи з розроблення технологій відділення бутанолу з суміші за допомогою поверхнево активних речовин [54]. Застосування такого процесу розділення окрім зменшення витрат енергоносіїв призведе до покращення умов протікання процесів ферментації. Такий спосіб відділення біобутанолу поєднаний з процесами ферментації, тому буде впливати на регулювання вмісту спирту в ферментерах. Можливість регулювання концентрації спирту в ферментерах призведе до збільшення біомаси. На рис. 3.2 представлена принципова схема такого процесу розділення

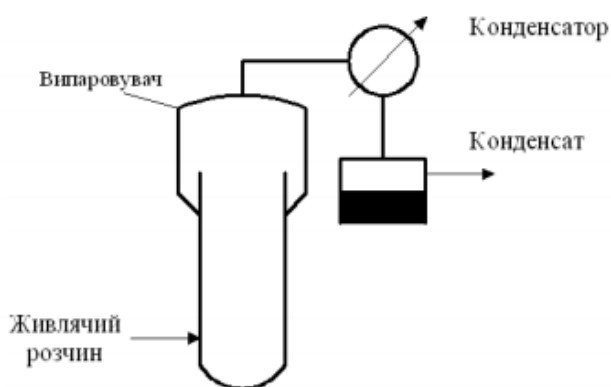


Рисунок 3.2 – Принципова схема розділення суміші за допомогою неіонних поверхнево активних речовин

Суть такого процесу розділення полягає у змішуванні реакційної суміші ферментеру з відповідним полімером, структура якого забезпечує захоплення молекул бутанолу. В подальшому даний полімер піддається термічній обробці у випаровувачі за температури 120 – 130°C, під час якої суміш бутанол та вода

випаровується (т кип – 117,4 °С). Далі пари конденсуються в конденсаторі. Характеристики полімеру дозволяють його неодноразове використання. Звісно, така технологія має істотні переваги у порівнянні з дистиляцією, але, враховуючи температуру нагріву полімеру, вона теж потребує значної витрати теплової енергії, що і є її недоліком.

Враховуючи вимоги до бутанолу та особливості технології його отримання, доцільно мікробіологічне виробництво біобутанолу проводити за такою схемою. Принципова схема зображена на рис 3. Процеси підготовки середовища культивування та відповідно процес ферментації протікають без принципових змін. Відмінністю запропонованої схеми є удосконалення процесу відділення бутанолу від культуральної рідини. В останній ферментер в необхідній кількості завантажується (цеоліт у формі гранул) сорбент. Підібрано цеоліт, який має здатність адсорбувати виключно розчин бутанолу та води [55]. Даний сорбент безперервним потоком завантажується в останній ферментер. Сорбент із ферментеру транспортується до збірника конденсату, в якому він перебуває деякий час для відділення його від культуральної речовини, що потрапила в збірник при захопленні транспортними пристроями. В подальшому культуральна речовина самоплинно перетікає в ферментер. Після збірника сорбент потрапляє у вакуумну камеру, де за рахунок глибокого розрідження відбувається його осушення. Осушення сорбенту в даній схемі проводиться періодично, тому, щоб забезпечити безперервну роботу технологічної схеми, потрібно в схемі передбачити встановлення двох вакуумних камер. Після осушення сорбент знову направляється у ферментер.

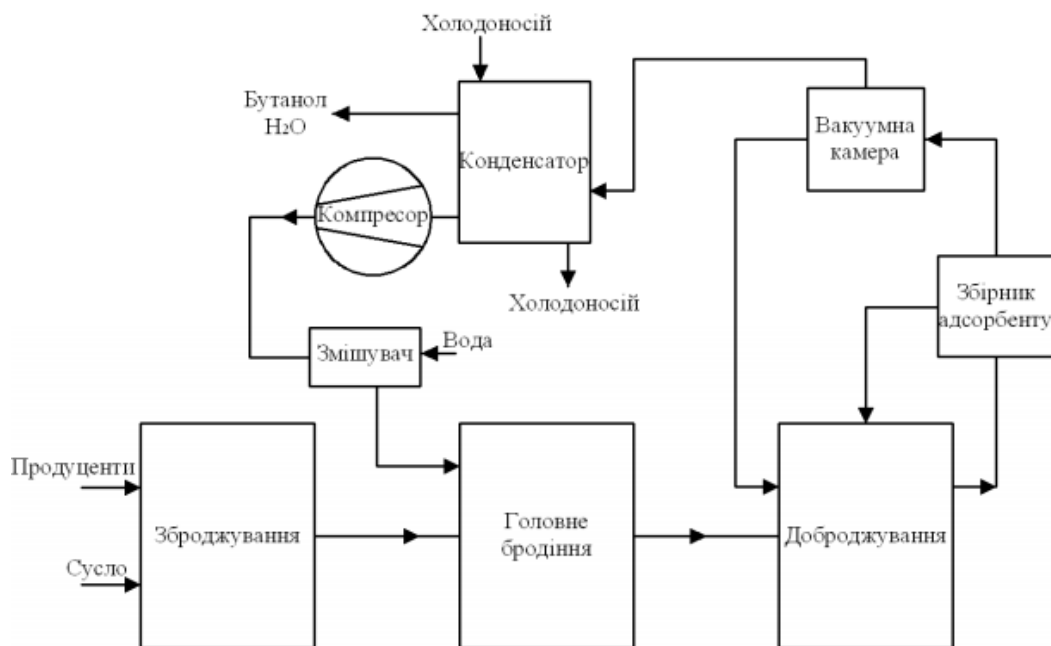


Рисунок 3.3 – Модернізована схема виробництва біобутанолу

Отримана водо-спиртова газова суміш конденсується в конденсаторі, з якого виходять неконденсовані пари, що в подальшому проходять багаторівневий змішувач барботажного типу, де розчиняються у воді і знову потрапляють у бродильний чан. Зконденсований бутанол та вода збираються у відповідному збірнику, який встановлено після конденсатору. Враховуючи, що бутанол має малу розчинність (8,5% об'ємних), отримана спиртово-водна суміш легко розділяється. Дана схема виробництва біобутанолу, а саме схема його вилучення, має малі показники енерговитрат на здійснення процесу. Економія полягає у відсутності потреби підігрівати культуральну речовину, з метою забезпечення випаровування з неї спирту. Така технологія не може бути застосована для спиртів із меншою густиною, так як вони є повністю розчинними у воді.

3.3 Результати розрахункового дослідження впливу величини добавки біобутанолу до бензину на показники роботи двигуна

За результатами розрахункових досліджень отримано залежності зміни основних показників роботи ДВЗ та показників палива від вмісту біобутанолу в сумішевому бензині в натуральних одиницях, а також відносних змін цих показників.

На першому етапі розглянемо, як змінюються основні параметри бензину залежно від вмісту спиртових сполук на прикладі біобутанолу [56]. На рис. 3.4 залежність 1) показана залежність відносної зміни теплоті випаровування сумішевого бензину $Q_{\text{вип відн}}$ від об'ємної частки спиртових сполук, розрахована з використанням формули 3.4. Цей параметр сумішевого бензину значно залежить від вмісту спиртових сполук і при добавці 7 % об. біобутанолу зростає на 14,8 % при добавці 10 % об. біобутанолу – на 24,6 %.

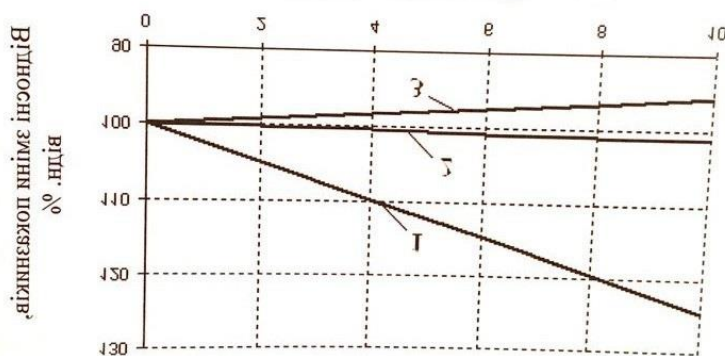


Рисунок 3.4 – Відносні зміни показників сумішевого бензину від вмісту біобутанолу: 1 - $Q_{\text{вип відн}}$, 2 - $\rho_{\text{сум відн}}$, 3 - $l_0 \text{ сум відн}$

Рахункова залежність відносної зміни густини бензину з добавками спиртових сполук $\rho_{\text{сум відн}}$ від об'ємної частки спиртових сполук в суміші показана на рис.3.2. Розрахунки виконані з використанням формули 3.1 для базового бензину А-95($\rho_6=0,711 \text{ г/дм}^3$). Добавка спиртових сполук 10% за об'ємом збільшує густину бензину лише на 1,1%.

Розрахункова залежність відносної зміни теоретично необхідно: кількості повітря для згоряння 1 кг бензину $l_{0 \text{ відн}}$ від об'ємної частки спиртових сполук в суміші показана на рис. 3.2 (залежність 3). Розрахунки виконані з використанням формули 3.2. Добавка спиртових сполук 10 % за об'ємом зменшує цей показник на 4,3 %, добавка 6 % об. – на 2,6 %.

Визначимо величину зниження температури свіжого заряду в результаті випаровування бензину, що має різну величину спиртових добавок.

В роботах останніх років не виявлено даних щодо величини частки палива, що випаровується на впуску сучасних бензинових двигунів. Досліди Неймана показали, що при температурі суміші на вході в циліндр 20°C випаровується 50% бензину ($x=0,5$). Ця величина і була прийнята в подальших розрахунках величини зниження температури в результаті пароутворення.

Розрахунки проводились для стехіометричної паливоповітряної суміші ($\alpha = 1$). Величини $l_{0 \text{ сум}}$ і $Q_{\text{вип сум}}$ для сумішевого бензину були розраховані з використанням формул 3.2 і 3.4. Теплоємність повітря при сталому тиску приймалась з таблиць [2] $C_{\text{рп}} = 1,0061$ кДж/кг·град (середньою в інтервалі температур 0...100 °C).

Теплоємності бензину і спирту, що входять до складу сумішевого бензину, приймались середніми відповідно $c_b = 2,36$ кДж/кг·град; та $c_c = 2,54$ кДж/кг·град [83].

Розрахована залежність величини зниження температури паливоповітряної суміші від вмісту в сумішевому бензині спирту показана на рис. 3.4.

Як видно з показаної залежності, добавка спирту незначно впливає на зниження температури свіжого заряду в абсолютних величинах. При 10% вмісту спирту додаткове зниження температури становить близько 2,7 °K, хоча відносна величина зниження складає біля 30%.

Розглянемо, як таке додаткове зниження температури свіжого заряду вплине на коефіцієнт наповнення ДВЗ. При розрахунках визначалась відносна

зміна $\eta_{V\text{відн}}$ в залежності від ΔT , інші величини приймалися однаковими. Для двигунів із зовнішнім сумішоутворенням $\Delta T = 0 \dots 20^\circ\text{K}$ [83].

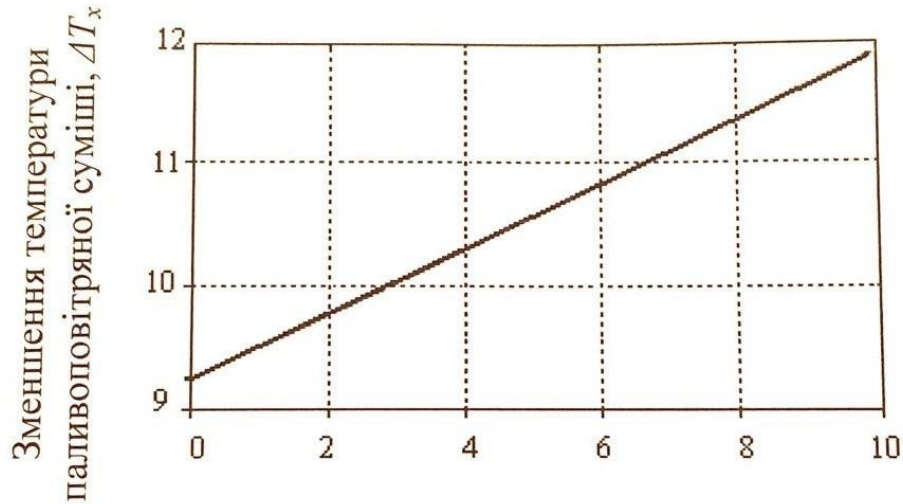


Рисунок 3.5 – Залежність зменшення температури паливоповітряної суміші ΔT_x від вмісту біобутанолу в сумішевому бензині

Якщо прийняти середнє значення $\Delta T = 10^\circ\text{K}$ для базового бензину згідно з формулою 3.7 при $\Delta T_x = 9,2^\circ\text{K}$, яка розрахована вище, $\Delta T_{\text{під}}$ буде складати $19,2^\circ\text{K}$.

Прийнявши температуру на впуску $T_0 = 293\text{K}$ і $\Delta T_{\text{під}} = 19,2^\circ\text{K}$ змінюючи ΔT_x , можна визначити відносну зміну в залежності від вмісту біобутанолу.

Отримана таким методом залежність відносної зміни коефіцієнта наповнення $\eta_{V\text{відн}}$ від об'ємної частки біобутанолу показана на рис. 3.4 (залежність 4). Як видно з цієї залежності, добавка біобутанолу до бензину практично не вплинула на наповнення ДВЗ, так як коефіцієнт наповнення зріс лише на 0,9 % при вмісті 10 % об. біобутанолу.

Залежність відносної зміни коефіцієнта надміру повітря $\alpha_{\text{відн}}$, від об'ємної частки біобутанолу в сумішевому бензині, розрахована з використанням формули 3.9 показана на рис. 3.4 (залежність 2). Розрахунки виконані для стехіометричного складу суміші ($\alpha \approx 1,0$) при роботі на базовому бензині.

Застосування сумішевого бензину призведе до збіднення паливоповітряної суміші. При вмісті біобутанолу 10% коефіцієнт надміру повітря зросте на 3,9 %, що є суттєвим, при добавці 7 % об. - на 2,3 %. Якщо оцінювати вплив такого зростання α з точки зору стабільності роботи ДВЗ, то можна очікувати, що вона не зміниться, тому що нижня межа розповсюдження полум'я для спиртовоповітряних сумішей вища від межі для бензоповітряних ($\alpha \sim 1,3$), тому можна очікувати, що сумішевий бензин матиме більш широкі межі збіднення і двигун буде стабільно працювати на дещо збіднених в порівнянні з базовим бензином сумішах.

При використанні сумішевого бензину з добавками біобутанолу зміниться питома масова витрата палива. Розрахована з використанням формули 3.10 залежність відносної зміни питомої витрати палива $g_{e \text{ відн}}$ при однаковому навантаженні показана на рис. 3.4 (залежність 3). З цих графіків видно, що у випадку використання сумішевого бензину дещо зростає питома витрата палива. Розрахункове збільшення масової витрати палива при 10% об. біобутанолу в сумішевому бензині складає 1,4 % при 6 % об. - 0,8 %. Пояснюється це меншою величиною нижчої теплоти згоряння біобутанолу порівняно з бензином, хоча при переході на сумішевий бензин протікання робочого процесу повинно покращитися.

Отримані дані відносяться до випадку, коли в конструкції та регулюваннях ДВЗ будуть враховані основні відмінності біобутанолу від бензину. Якщо і тих чи інших причин, наприклад наявності домішок у спирті, особливостей конструкції паливної системи і ДВЗ в цілому, або в результаті неточності прийнятих для розрахунку величин, таке значне збіднення паливоповітряної суміші не буде забезпечено і можливе зростання витрати палива буде значно більшим. Якщо в формулі 3.10 прийняти названі показники ДВЗ незмінними, то залежність відносної зміни питомої витрати палива $g_{e(h_n) \text{ відн}}$ від вмісту спирту, яка у цьому випадку визначатиметься лише зміною нижчої теплоти згоряння палива, буде мати вигляд, як показано на рис. 3.4 (залежність 1). В цьому випадку

зростання питомої витрати палива сумішевого бензину при вмісті 7 % об. біобутанолу становитиме 2,6 % при 10 % об. – 4,5 %.

Визначена з використанням формул 3.12 і 3.14 відносна зміна індикаторного крутного моменту $M_{i \text{ відн}}$ і, відповідно, ефективного крутного моменту від вмісту біобутанолу в сумішевому бензині показана на рис. 3.4 (залежність 5). Як видно з показаної залежності, крутний момент ДВЗ із зростанням вмісту біобутанолу практично не змінюється. Розрахункове зростання індикаторного крутного моменту при вмісті біобутанолу в сумішевому бензині 10 % об. становить лише 0,5 %. Разом з тим необхідно відзначити, що витрата сумішевого бензину буде дещо зростати при роботі за зовнішньою характеристикою в результаті зростання витрати повітря (коефіцієнт наповнення η_V зростає).

Основні розраховані показники сумішевого бензину та показники роботи ДВЗ в абсолютному чи відносному вираженні) залежно від об'ємної частки біобутанолу наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати теоретичного дослідження впливу добавки біобутанолу на показники сумішевого бензину та на показники роботи ДВЗ

r_c , % об.	g_c , мас. %	g_b , мас. %	$\rho_{\text{сум}}$ кг/дм ³	$Q_{\text{вип}}$ сум, кДж/кг	$Q_{\text{вип відн}}$, %	$h_n \text{ відн}$, %	$\alpha_{\text{відн}}$, %	T_x , град К
0	0,00	100,00	0,7110	318,5	100,00	100,00	100,00	9,23
2	2,22	97,78	0,7126	334,3	104,96	99,06	100,76	9,76
4	4,42	95,58	0,7142	350,0	109,90	98,13	101,54	10,29
6	6,62	93,38	0,7157	365,7	114,81	97,20	102,37	10,83
8	8,81	91,19	0,7173	381,3	119,71	96,27	103,12	11,38
10	10,99	89,01	0,7189	396,8	124,58	95,35	103,92	11,93

Розраховані за формулами 3.23-3.25 залежності відносної зміни концентрацій $\text{CO}_{\text{відн}}$, $\text{CO}_2_{\text{відн}}$, $\text{C}_m\text{H}_n_{\text{відн}}$ у вихлопних газах при переході на сумішевий бензин показані на рис. 3.5 - відповідно (залежність 4), (залежність 2) та (залежність 3).

З цих залежностей видно, що при використанні сумішевого бензину замість базового можна очікувати значного зниження у вихлопних газах вмісту продуктів паливного згоряння - CO і C_mH_n та незначне зростання CO_2 .

В цілому теоретичними дослідженнями показано, що використання сумішевого бензину призведе до зростання g_e , при цьому енергоефективність залишиться незмінною при роботі на збіднених паливоповітряних сумішах і покращиться в режимах, де використовуються збагачені паливоповітряні суміші - холостий хід та режим повного навантаження. Енергетичні показники ДВЗ залишаться майже незмінними. Слід очікувати зниження концентрацій продуктів неповного згоряння палива у ВГ CO і C_mH_n та незначного збільшення CO_2 . Концентрація NO_x у ВГ залежить від багатьох факторів, які важко врахувати теоретично, тому її зміну слід визначати експериментально. Але наявна тенденція зростання NO_x .

Висновки до розділу 3

1. В даному розділі наведено аналіз технологій вилучення бутанолу із культурального середовища, вказано основні недоліки, та визначено напрямки вдосконалення технології його виробництва.
2. Запропоновано новий спосіб виділення біобутанолу із культуральної рідини, який здійснюється без підведення теплової енергії до збродженого середовища, тобто без дистиляції.
3. За попередніми теоретичними розрахунками запропонований спосіб виділення біобутанолу в два рази зменшить витрату теплової енергії.
4. Запропонована схема зменшить собівартість виробництва біобутанолу.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Основною ідеєю стартап-проекту є новий спосіб виділення біобутанолу із культуральної рідини, який здійснюється без підведення теплової енергії до збродженого середовища, тобто без дистиляції.

4.1 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Актуальність та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту полягає у новому способі виділення біобутанолу із культуральної рідини, який здійснюється без підведення теплової енергії до збродженого середовища, тобто без дистиляції. В табл. 4.1 охарактеризовано основні переваги пропонованого виробу та вигоди від їх використання споживачами.

Таблиця 4.1 – Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
новий спосіб виділення біобутанолу із культуральної рідини, який здійснюється без підведення теплової енергії до збродженого середовища, тобто без дистиляції	Використання при виготовленні пального для автотранспорту	1. Зменшення собівартості виготовлення біобутанолу
	Використання при виготовленні пального для генераторів	2. Зменшення затрат на теплову енергію

4.2 Аналіз конкурентного середовища

Для аналізу потенційних техніко-економічних переваг ідеї доцільно і необхідно визначити і описати можливих конкурентів, для цього застосовуємо бальну оцінку(табл.4.2).

Таблиця 4.2 – Переваги ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї		Стартап проект	Термопервапораціонное виділення біобутанола	метод адсорбційної іммобілізації.
1	Безпечність		4	5	5
2	Екологічність		5	4	4
3	Економічність		5	4	3
4	Ефективність		4	4	4

SWOT аналіз – один з найбільш ефективних інструментів в стратегічному менеджменті. Його сутність полягає в аналізі внутрішніх і зовнішніх чинників компанії, оцінці ризиків і конкурентоспроможності товару в галузі. Результати проведеного SWOT-аналізу наведені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Матриця SWOT-аналізу

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Зменшення затрат теплової енергії 2. Зменшення собівартості виробництва біобутанолу 3 Відсутність потреби підігрівати культуральну речовину	1.Затрати ресурсів на регенерацію адсорбентів 2. Відсутність патенту на технологію; 3. Встановлення додаткового обладнання; 4. Не може бути застосована для спиртів із меншою густиною

Продовження таблиці 4.3

Можливості	Загрози
1. Вихід на міжнародний ринок; 2. Доступність інвестицій та кредитів; 3. Відновлюваність ресурсів. На відміну від інших видів палива, біобутанол має відновлювальний характер, тобто фактично його ресурс нескінченний.	1. Негативні зміни з боку національного законодавства; 2. Заміщення їстівних культур технічними. Для вирощування сировини потрібно займати значні площі земель, які могли б використовуватися для вирощування сільськогосподарських культур для реалізації в харчовій галузі. 3. Регулярно відбирати проби палива для перевірки його на відповідність стандарту ДСТУ 6081:2009 Паливо моторне.

За допомогою SWOT-аналізу визначено основні сильні та слабкі сторони запропонованого методу. Виявлено, що сукупність сильних сторін та можливостей може компенсувати слабкі сторони та загрози.

4.3 Ключові види діяльності та ключові партнери

Для досягнення реалізації запропонованого методу необхідно розкрити способи отримання необхідних ресурсів (табл. 4.4) та обрання ключових партнерів (табл.4.5)[78].

4.3 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Таблиця 4.4 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис	Результати діяльності
Підбір необхідного механічного обладнання	Для застосування способу необхідно для кожного виробництва встановити додаткове обладнання	Наявність необхідної техніки для отримання біобутанолу
Підбір відповідного сорбенту	Ефективність залежить від правильного вибору сорбента в залежності від фермента.	Виконання максимально ефективного адсорбування
Управління способом	Оплата праці для персоналу	Ефективна діяльність при виконанні роботи

Таблиця 4.5 – Ключові партнери

Інформація	Партнер 1	Партнер 2
Назва організації-партнера	ТОВ «БіоЛайн»	ТОВ «Еколот»
Місце розташування	04023, м. Київ, Святошинський район, вул. Жмеринська 36Б	41005, м. Дніпропетровськ, вул. Верхньодніпровська 23
Юридичний статус	Юридична особа	Юридична особа
Офіційна адреса	04023, м. Київ, Святошинський район, вул. Жмеринська 36Б	41005, м. Дніпропетровськ, вул. Верхньодніпровська 23
Телефон	0975668345	0446894432
Завдання які покладаються на партнера	Забезпечення необхідним сорбентом	Забезпечення необхідним обладнанням для виконання технології

Також, використання даної технології залежить від місцезнаходження об'єкту, тобто партнери для виконання даного методу можуть обиратися територіально.

4.4 Прямі матеріальні витрати та розрахунок собівартості продукції

Для виконання запропонованого способу необхідні прямі витрати на: встановлення додаткового обладнання та закупівлю сорбента. У табл. 4.6. наведемо прямі витрати отримання біобутанолу об'ємом до 100л.

Таблиця 4.6 – Прямі матеріальні витрати

Назва ресурсу	Одиниці вимірювання	Ціна, грн	Кількість	Сума, грн
Встановлення двох вакуумних камер	шт	22000	2	44000
Сорбент	кг	4,4	100	440
Сировина (цукровий буряк)	кг	17	230	3910
Усього:				48350

Відмітимо, що прямі матеріальні витрати можуть коливатись в діапазоні до 2000грн. Це буде залежати від актуальної сировини для виробництва.

4.4 Витрати на оплату праці

Для виконання методу потрібен персонал, а саме оператор. В аспекті способу обираємо пряму погодинну систему оплати праці та розраховуємо її за формулою:

$$ЗП_{\text{погод}}^{\text{пряма}} = ТС \times t, \text{ грн}$$

де t – кількість відпрацьованих працівником годин, год;

$ТС$ – тарифна ставка оплати праці, грн/год.

Зазначимо, що з 1 січня 2019 року мінімальна заробітна плата в Україні становить 4173 в місяць і мінімальна тарифна ставка оплати праці становить 25,13 грн.

Для оператора мінімальна тарифна ставка становить 46,35 грн. та витрата часу складе 8 годин, тоді заробітна плата для одного оператора складе:

$$ЗП_{\text{погод}}^{\text{пряма}} = 46,35 \times 8 = 370,8 \text{ грн.}$$

4.5 Цільові групи потенційних клієнтів

Для обґрунтування потенційних клієнтів можна виявити групи, яким можна запропонувати до застосування наведений вище спосіб отримання біобутанолу. У табл.4.8 представлені обрані цільові групи.

Таблиця 4.8 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п.п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Орієнтований попит цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові підприємства	Високий	Середня	Середня
2	Держава	Середній	Середня	Середня

У якості стратегії охоплення ринку обрано стратегію спрощену недиференційовану, так як запропонований метод має у собі мінімальні функціональні властивості (табл. 4.9) [80].

Таблиця 4.9 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентні позиції
Ринкові можливості посилення ідеї стартап-проекту	Спрощена недиференційована	Ефективність та екологічність очищення

4.6 Канали збуту

Для повної реалізації стартап-проекту необхідно залучати канали збуту. У табл. 4.10 визначено оптимальну систему збуту та її функції.

Таблиця 4. 10 – Канали збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту	Оптимальна система збуту
Компанії, що займаються виробництвом біопалива	Започаткування виконання технології	Традиційна

4.7 Бізнес-модель проекту

При розробленні стартап-проекту без бізнес-моделі неможливо запустити його успішно. Потрібно мати чітке уявлення про цілі і способи їх досягнення. Саме це і є бізнес модель стартапу –логічне розуміння і відображення того, як функціонує бізнес на всіх рівнях, а також яким чином стартап приваблює клієнтів і заробляє гроші. В ідеалі таке подання має мати графічне або схематичне відображення (табл.4.11).

Таблиця 4.11 – Структура бізнес-моделі впроваджуваного методу

Ключові партнери	Ключові види діяльності	Цінність пропозиції	Споживачі сегменти
ТОВ «БіоЛайн» ТОВ «Еколот»	Виробництво біобутанолу	Зменшення собівартості виготовлення біобутанолу, Зменшення затрат на теплову енергію	Промислові підприємства, приватні підприємства, держава
	Ключові ресурси	Канали збуту	
	Техніка, сорбент, оператори	Компанії, що займаються виробництвом біопалива	
Прямі матеріальні витрати: 48350 грн. Витрати на оплату праці: 370,8 грн.			

Висновки до розділу 4

1. За допомогою SWOT-аналізу визначено основні сильні та слабкі сторони запропонованого способу. Виявлено, що сукупність сильних сторін та можливостей може компенсувати слабкі сторони та загрози.
2. Виявлено основні необхідні ресурси та ключові партнери для впровадження стартап-проекту.
3. Для виконання запропонованого методу необхідні прямі витрати на: сировину, сорбент, додаткове устаткування. Розраховано що ці витрати становлять 48350 грн.

ВИСНОВКИ

1. У зв'язку з дефіцитом палив нафтового походження велика увага приділяється альтернативним паливам, насамперед, паливам з відновлювальної сировини. До таких палив відносяться біобутанол та сполуки на його основі. Застосування біобутанолу для живлення двигунів КТЗ дозволить розширити паливну базу автомобільного транспорту. Біобутонол як моторне паливо має як позитивні так і негативні властивості, тому на першому етапі його доцільно використовувати як добавка до бензину.

2. Проведені розрахункові дослідження по уточненій математичній моделі показали, що добавка біобутанолу впливає на параметри сумішевого бензину на показники роботи двигуна автомобіля, зокрема, на теоретичну необхідну кількість повітря для згоряння 1 кг палива, коефіцієнт надміру повітря та теплоту випаровування. При добавці 7% об. біобутанолу перший параметр зменшується на 2,58%, другий і третій збільшується, відповідно, на 2,37% і 14,81%.

3. Здійснені розрахунки показують, що робота ДВЗ на бензині з добавками біобутанолу супроводжуються зворотним зростанням питомої витрати палива в масових одиницях. Величина цього зростання залежить від багатьох факторів. При вмісті спирту 7% об. зростання питомої витрати палива знаходиться в межах 0,8...2,6%.

4. Запропоновано новий спосіб виділення біобутанолу із культуральної рідини, який здійснюється без підведення теплової енергії до збродженого середовища, тобто без дистиляції.

5. За попередніми теоретичними розрахунками запропонований спосіб виділення біобутанолу в два рази зменшить витрату теплової енергії.

6. Запропонована схема зменшить собівартість виробництва біобутанолу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мироненко В.П., Тарасенко О.М., Пригожинський В.М., Остап'юк О.Я. Автомобільний парк України: стан, проблеми, перспективи розвитку; за заг. Ред. А.М. Редзюка. К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2016. 83-84с.
2. Статистичний щорічник України за 2016 рік. URL: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm.
3. Основні показники охорони атмосферного повітря та поводження з відходами I-III класів небезпеки. Державний комітет статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/elektr_zvit
4. Про внесення змін до Закону України «Про деякі питання ввезення на митну територію України транспортних засобів» від 30.11.2016 № 3151 – IV Офіційний вісник Україна 2017. № 52. С. 17.
5. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф. Нормування екологічних показників ДТЗ: розвиток, стан, перспективи : Автошляховик України. 2016. № 4. С.2-9.
6. Редзюк А.М., Бейко О.А., Устименко В.С. Аналіз нормативних вимог до моторних палив : Енергетична політика України . 2015. №7-8. С. 61-65.
7. Редзюк А.М., Бейко О.А., Устименко В.С. Нормування вмісту високооктанових кисневмісних компонентів в автомобільних бензинах : Автошляховик України. 2015. №4. С. 6-8
8. Редзюк А.М., Бейко О.А., Устименко В.С. Топливо по-європейски. О необходимости введения европейских стандартов на моторные топлива в связи с переходом Украины на экологические нормы Евро-5. №10. С. 59
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. Пронин Е.Н., Поденок С.Е. Проект «Голубой коридор»: эколого-экономическая модель использования природного газа в качестве моторного

топлива в международном автомобильном сообщении. : учебн. Москва:2003. С. 46.

11. Bioenergy Action Plan for California/ CEC-600-2006-01/ California Energy Commission (USA). URL: <http://www.energy.ca.gov>.

12. Про заходи щодо розвитку виробництва палива з біологічної сировини: Указ Президента України від 26.09.2009 №1094/2009. Урядовий кур'єр. 2003. №185

13. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання виробництва бензинів моторних сумішевих» від 23.02.2013 №3502-IV. Офіційний вісник України. 2006. №11. С 85.

14. Аксенов В.Л., Пятничко А.И., Иванов Г.А. Защита воздушного бассейна от вибросов автотранспорта. Киев. УкрНИИНТИ, 2003. С. 52.

15. Directive 2015.17.EC of the European Parliament and of the Council of 3 March 2015 amending Directive 98.70.EC relating to the quality of petrol and diesel fuels. Official Journal of the European Union. 2003. №L76.P.10-19.

16. Кириллов Н.Г. Невтегазовые технологии. 2012. С.15-20.

17. Емельянов В.Е., Крылов И.Ф. Альтернативные экологически чистые виды топлив для автомобилей. Москва: АСТ «Астрель», 2011. С. 128.

18. Галышев Ю. В., Магидович Л.Е. Перспективы применения газовых топлив в ДВС: Двигателестроение. 2001. №3. С. 31-34.

19. Альтернативные топлива для двигателей с искровым зажиганием. Поршневые и газотурбинные двигатели / за ред.: В.А. Толным. Москва. 2001. С. 17-21.

20. Альтернативные источники энергии для автомобилей. Альтернативный транспорт. 2002. №3. С. 43-47.

21. Кутенев В.Ф., Каменев В.Ф. Экологически чистые альтернативные топлива. Перспективы применения: Автомобильная промышленность. 2009. №11. С. 24-25.

22. Грабова Т.Л. Альтернативне відновлювальне джерело енергії – біодизельне паливо з ріпаку : монографія. Харків. 2016. №16. С. 30-31.

23. Мхітарян М.Н. Стан та перспективи біоенергетики України. Енергоінформ. 2011. №29. С.16-18.

24. Редзюк А.М., Рубцов В.О., Гутаревич Ю.Ф. Проблеми та перспективи використання рослинної олії як моторного палива: Автошляховик України. 2014. №1. С.4-6.

25. Калетнік Г.М. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України: навч. посібник/ Г.М. Калетнік, В.М. Пришляк. – К: «Хай-Тек Прес». 2010. – 312 с.

26. Калетнік Г.М. Альтернативна енергетика України: особливості функціонування і перспективи розвитку: монографія [Калетнік Г.М., Олійнічук С.Т., Скорук О.П. та ін].

27. Малярєнко В.А, Яковлев А.И. Биодизель – альтернатива диверсификации моторных топлив. 2006. №3. С. 64-74.

28. Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мороз О.Г. Використання бензоспиртових сумішей в двигунах з іскровим запалюванням Менеджмент : навч. посіб. Запоріжжя :2013. №2. С. 8-10.

29. Гутаревич Ю.Ф. Устименко В.С. Теоретичне дослідження екологічних показників та паливної економічності автомобільного двигуна при використанні сумішевого бензину: навч. посіб. Львів . 2015. 312 с.

30. Про внесення змін до деяких законів України щодо виробництва та використання моторних палив з вмістом біокомпонентів : Закон України від від 19 червня 2012. № 4970 – 17. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 19-20, ст.177.

31. Гельфанд Е. Д. Основы технологии биоэтанола: учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. Ун-та, 2005. – 56 с.

32. Циганков П. С., Циганков С. П. Виділення спирту із бражки та його очистка: монографія. Харків , 2015. С.138.

33. Устименко В.С., Бейком О.А. Дослідження властивостей сумішевісних бензинів з кисневмісними ті іншими компонентами.: Перевізник 2012. №15. С.23-24.

34. Chen Y., Gussert D., Gao X. Ethanol fumigation of a turbocharged diesel engine. SAE Techn. Pap. Ser. 2004. P.14.

35. Звонов В.А., Заиграев Л. С., Козлов А.В. Метанол и экологические показатели дизелей: Автомобильная промышленность. 2007. №11. С.26-27.

36. Исследование образования альдегидов и разработка методов снижения их эмиссии с отработавшими газами двигателей, работающих на спиртовом топливе. Поршневые и газотурбинные двигатели: М.: ВИНТИ. 2003. №41. С. 17-22.

37. Бугаенко И.Ф. Альтернативные виды топлива из сахарной свеклы и продуктов ее переработки. 2007. № 2. С.18-20.

38. Калетник Г.М. Перспективи виробництва біоетанолу в Україні: Аграрна техніка та обладнання. 2009. № 2. С.50-55.

39. Присяжнюк О.Г., Шевченко І.А. Аспекти використання біоетанолу як альтернативного джерела енергії : Цукрові буряки. - 2009. - № 3. С.14-15.

40. Станісевич С.А. Цукрові буряки: цукор і біоетанол (Поєднання вирішення продовольчої та енергетичної проблем). Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. - Вип. 141.

41. Олійник С.А. Сучасні і перспективні технології виробництва біоетанолу на світовому ринку: Харчова і переробна промисловість. - 2009. - № 6. С.11-13.

42. Українець А.Д., Хомічак Л.Г., Шиян П.Р. Спиртова галузь України на шляху до інноваційного розвитку. URL:<http://www.proagro.com.ua>

43. Коденська М. Ю. Передумови розвитку та інвестування біоетанолової галузі у цукробуряковому виробництві. К. : Цукор України, 2012. – С. 193–199.

44. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія– Київ.: Вид. дім «Асканія», 2009.– 424 с.

45. Офіційний сайт Міжнародної оцінки сільськогосподарської науки і технології для розвитку. URL: <http://www.agassessment.org/>.

46. Стратегія ЄС щодо використання біологічного палива. Міністерство юстиції. [URL:www.minjust.gov.ua/file30995](http://www.minjust.gov.ua/file30995) .

47. Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація стартап проекту геомехатронного комплексу Сучасні проблеми економіки і підприємництва [Текст]: Збірник наукових праць. – Вип. 21. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2018 С. 94-101. URL:<http://sb-keip.kpi.ua/article/viewFile/130546/132655>

48. Шевчук Н.А. Економіка і організація виробництва: Рекомендації до виконання розрахункової роботи:[Електронний ресурс]: навч. посібник для студ. спеціальностей: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізацій: «Інжиніринг електротехнічних комплексів», «Електромеханічні та мехатронні системи енергоємних виробництв»/ Н.А. Шевчук, С.О. Тульчинська/КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.– 60 с.