

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Ефективність використання вантажного автомобіля
при роботі на суміші біоетанолу та бензину**

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-1-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Матвєєв Іван Володимирович

Керівник: _____ Макаренко Дмитро Олександрович

Рецензент: _____

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ЕМТП

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » 2026 p.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Матвєєву Івану Володимирочу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Ефективність використання вантажного автомобіля при роботі на суміші біоетанолу та бензину.

керівник роботи Макаренко Дмитро Олександрович, кандидат технічних наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 04.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Обсяги виробництва та використання біоетанолу в світі та Україні. Огляд публікацій щодо ефективності паливної суміші на основі бензину та етанолу. Аналіз конструктивних особливостей змішувачів для рідин, їх переваги та недоліки. Патентний огляд конструкцій змішувачів.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз використання етанолу в якості пального для двигунів внутрішнього згорання та його ефективність. 2. Огляд особливостей конструкцій змішувачів та обґрунтування запропонованої конструкції робочих органів. 3. Інженерно-технічні розрахунки запропонованої конструкції. 4. Охорона праці. 5. Економічне обґрунтування проєкту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Аналіз використання біоетанолу (A1). 2. Патентний огляд конструкції змішувачів (A1) 3. ГАЗ-3307М (вид загальний). (A1) 4. Змішувач (складальне креслення) (A2). 5. Вал (A3). 6. Лопать центральна (A4) 7. Лопать (A4). 8. Економічна ефективність проекту(A1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Макаренко Д. О., доцент		

7. Дата видачі завдання: 04.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз стану питання	до 20.03.2026 р.	виконано
2	Обґрунтування конструкції змішувачу	до 24.04.2026 р.	виконано
3	Інженерно-технічні розрахунки	до 14.05.2026 р.	виконано
4	Охорона праці	до 20.05.2026 р.	виконано
5	Економічне обґрунтування проєкту	до 27.05.2026 р.	виконано
6	Графічна частина	до 04.06.2026 р.	виконано

Студент

(підпис)

Матвеев І. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Макаренко Д. О.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Матвеев І. В. Ефективність використання вантажного автомобіля при роботі на суміші біоетанолу та бензину / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття ОС «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ. Дніпро. 2026.

В дипломному проєкті проаналізовано використання етанолу в якості добавки до бензину у світі, переваги та недоліки такої паливної суміші. Найбільш поширеним варіантом у світі є E10, зі вмістом етанолу 10 %. Виконаний аналіз досліджень щодо ефективності роботи ДВЗ при різних концентраціях етанолу в бензині. Встановлено, що одним із ефективним рішенням щодо забезпечення фазової стабільності етанолвмісних бензинів є встановлення в бензобак спеціальних змішувачів. Запропонована комбінація декількох різних форм лопатей та їх розташування дозволяє підвищити циркуляцію суміші не тільки в горизонтальній, а й інтенсивне перемішування шарів, що розташовані й у вертикальній площині. Виконані інженерно-технічні розрахунки запропонованої конструкції змішувачу. Встановлено, що напруження, що виникає у валу становить 16,3 МПа, що є значно менше гранично припустимого 89 МПа і, отже, умови міцності виконуються. Наведені рекомендації щодо вибору допусків та посадок. Розглянуто вимоги безпеки при роботі з пально-мастильними матеріалами та спеціальними рідинами. Наведено вимоги при виконанні робіт з паливними баками. Виконані розрахунки щодо економічної ефективності використання бензину E10. Питомий економічний ефект становить – 2,2 грн / км пробігу. При цьому, термін окупності капітальних вкладень становитиме 0,12 років.

Ключові слова: біоетанол, бензин, паливна суміш, розшарування, змішувач, ефективність роботи ДВЗ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	<u>7</u>
1. ВИКОРИСТАННЯ ЕТАНОЛУ В ЯКОСТІ ПАЛЬНОГО ДЛЯ ДВЗ ТА ЙОГО ЕФЕКТИВНІСТЬ	<u>10</u>
1.1 Стан використання етанолу, як палива в світі	<u>10</u>
1.2 Переваги та недоліки застосування етанолу в складі бензину	<u>15</u>
1.3 Аналіз досліджень у сфері застосування біоетанолу	<u>18</u>
1.4 Обґрунтування теми дипломного проєкту	<u>24</u>
2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗМІШУВАЧА	<u>26</u>
2.1 Обґрунтування необхідності використання змішувача для суміші бензину та біоетанолу	<u>26</u>
2.2 Аналіз конструкцій змішувачів	<u>30</u>
2.3 Патентний огляд щодо удосконалення конструкції механічних змішувачів	<u>34</u>
2.4 Обґрунтування конструкції змішувача	<u>39</u>
3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ	<u>43</u>
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	<u>50</u>
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	<u>53</u>
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	<u>58</u>
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	<u>60</u>
ДОДАТКИ	<u>63</u>

ВСТУП

Станом на 2025...2026 роки етанол уже не можна вважати рідкісною або вузькоспеціалізованою добавкою, адже в багатьох країнах він став звичайним компонентом автомобільного бензину. Найчастіше його використовують не як окреме «чисте» паливо, а саме як кисневмісну добавку, яка підвищує октанове число бензину та дозволяє частково замінити нафтову складову. За даними ІЕА, рідкі біопалива вже мають помітне значення для транспортного сектору: у 2024 році вони зменшили залежність окремих країн від імпортного моторного палива на 5...15 %, а світовий попит на нафту був приблизно на 2,5 млн барелів на добу нижчим, ніж міг би бути без їх використання. Також ІЕА прогнозує подальше зростання попиту на рідкі біопалива до 2030 року.

На практиці найчастіше застосовують паливні суміші E10, E15, E20 та E85, де число показує об'ємну частку етанолу в бензині. Найбільш поширеним варіантом у світі є E10, тоді як суміші з більшим вмістом етанолу активніше використовуються в тих країнах, де є державна підтримка, відповідні вимоги до пального та достатня кількість автомобілів, пристосованих до такого виду палива.

Застосування етанолу у складі бензину є одним із найбільш поширених напрямів використання біопалив у сучасному транспортному секторі, оскільки воно поєднує енергетичні, економічні та екологічні цілі, однак водночас супроводжується низкою технічних, ресурсних і експлуатаційних обмежень.

Важливою перевагою етанолу є його високе октанове число, завдяки чому він виступає ефективним компонентом для підвищення октанового числа бензину, покращує антидетонаційні властивості паливної суміші та в окремих випадках дає змогу зменшити потребу у використанні інших високооктанових компонентів нафтового походження. Крім того, як кисневмісна добавка етанол може сприяти повнішому згорянню паливної суміші, що за певних умов позитивно позначається на якості вихлопу та дає змогу знижувати викиди окремих шкідливих речовин.

Водночас використання етанолу в складі бензину має і вагомі недоліки. Передусім слід враховувати, що етанол має нижчу теплоту згоряння, ніж бензин, тому зі зростанням його частки в паливній суміші зменшується загальна енергоємність палива, а це може призводити до певного підвищення витрати пального на одиницю пробігу, особливо у випадку сумішей із вищим умістом етанолу.

Ще одним важливим обмеженням є сумісність транспортних засобів і паливної інфраструктури: якщо низькі суміші на кшталт E10 зазвичай без суттєвих проблем використовуються в більшості сучасних бензинових двигунів, то вищі концентрації етанолу можуть вимагати спеціально адаптованих двигунів, паливних систем, ущільнювачів та матеріалів, стійких до його фізико-хімічних властивостей.

Бензин і етанол мають різні фізико-хімічні властивості, зокрема відрізняються густиною, випаровуваністю та здатністю взаємодіяти з вологою. Етанол є гігроскопічним, тобто здатний поглинати воду з навколишнього середовища, а це може негативно впливати на стабільність паливної суміші під час тривалого зберігання або експлуатації. Якщо склад пального в баку буде неоднорідним, це може призвести до нестабільної роботи двигуна, зміни процесу згоряння, коливань потужності та погіршення екологічних показників.

Необхідність встановлення змішувача в бак при використанні суміші бензину та етанолу пояснюється потребою зберігати однорідність пального, забезпечувати стабільну роботу двигуна та зменшувати ризик порушення процесу сумішоутворення і згоряння. Такий елемент є важливою частиною паливної системи, оскільки сприяє підвищенню надійності роботи двигуна та покращенню експлуатаційних показників під час використання альтернативного палива.

Саме тому, метою дипломного проєкту є обґрунтування конструкції змішувача для паливного баку вантажного автомобіля, який працює на суміші бензину та біоетанолу.

Для досягнення вказаної мети в роботі виконували такі завдання:

1. Проаналізувати використання етанолу в якості пального в світі, переваги та недоліки застосування.
2. Розглянути конструктивні особливості змішувачів, розробити оптимальну конструкцію для застосування в паливному бакові.
3. Виконати інженерно-технічні розрахунки запропонованої конструкції змішувача.
4. Навести вимоги охорони праці при роботі з бензином та етанолом.
5. Виконати техніко-економічні розрахунки розробленого удосконалення.

1. ВИКОРИСТАННЯ ЕТАНОЛУ В ЯКОСТІ ПАЛЬНОГО ДЛЯ ДВЗ ТА ЙОГО ЕФЕКТИВНІСТЬ

1.1 Стан використання етанолу, як палива в світі

Станом на 2025...2026 роки етанол уже є не нішевим, а масовим компонентом автомобільного бензину у значній частині світу. Його основне застосування, як кисневмісної добавки до бензину для підвищення октанового числа й часткового заміщення нафтопродуктів, а не як «чистого» палива. За оцінкою ІЕА, рідкі біопалива вже помітно впливають на транспортний сектор: у 2024 році вони знизили залежність від імпортного моторного палива на 5–15 відсоткових пунктів у відповідних країнах, а глобальний попит на нафту був приблизно на 2,5 млн барелів на добу нижчим, ніж був би без них. ІЕА також підвищило прогноз зростання попиту на рідкі біопалива до 2030 року [1].

У практиці ринку найпоширеніші суміші – E10, E15, E20 та E85, де число означає частку етанолу в бензині за об'ємом. Наймасовіший формат у світі – E10; вищі суміші розширюються там, де є відповідні мандати, підтримка держави та сумісний автопарк.

За виробництвом світовий ринок дуже концентрований. За даними RFA, у 2025 році глобальне виробництво паливного етанолу досягло рекордних близько 32 млрд галонів. Частки були, рис. 1.1, приблизно такими [2]: США – 52%, Бразилія – 27%, Індія – 8%, ЄС – 5%, Китай – 3%; решта країн мають значно менші частки. Це означає, що понад три чверті світового ринку фактично тримають США та Бразилія [2].

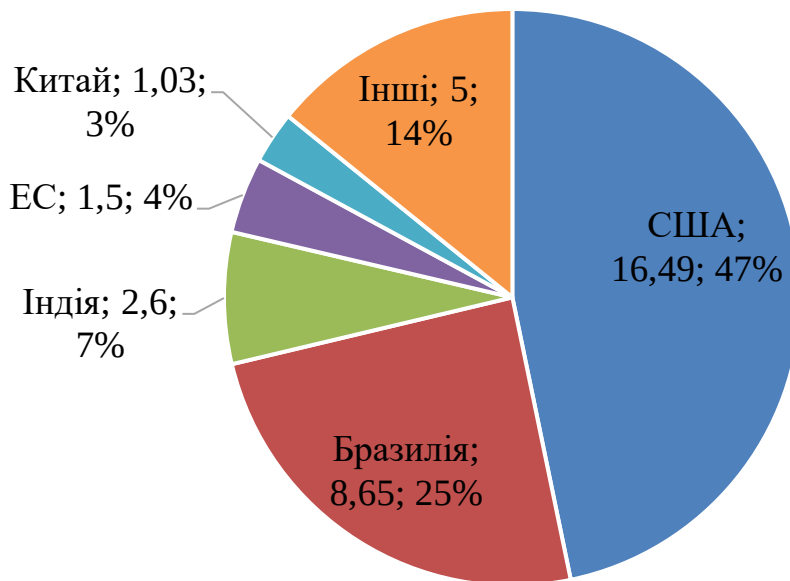


Рисунок 1.1 – Структура світового виробництва етанолу

Джерело: [2]

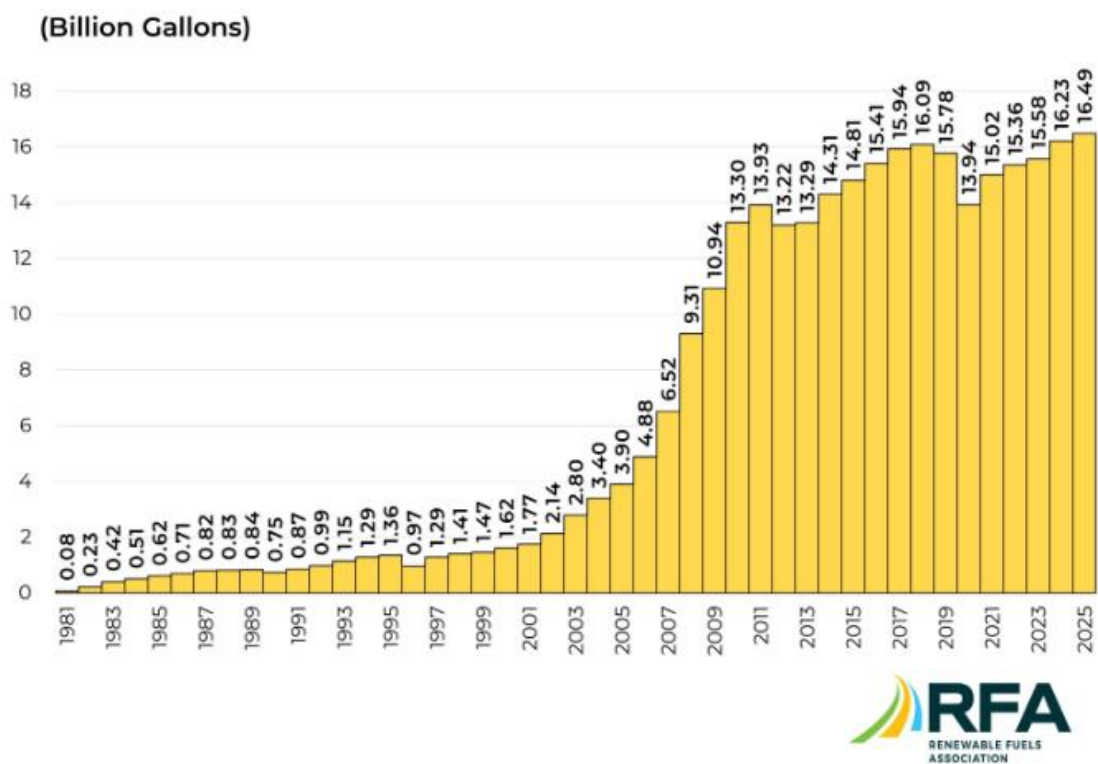


Рисунок 1.2 – Динаміка виробництва етанолу в США

Джерело: [2]

США залишаються найбільшим виробником і одним з головних драйверів споживання (рис. 1.2). Базова суміш у масовому бензині приблизно E10, а продажі E15 продовжують розширюватися. У березні 2026 року EPA дозволило nationwide summer sales E15, тобто літній продаж E15 по всій країні. За USDA, середній рівень домішки етанолу в бензині у США в березні 2025 року становив 10,1%, а 12-місячний середній вміст на рівні 10,2%. Паралельно швидко росте експорт: RFA повідомляє, що у 2025 році США експортували рекордні 2,18 млрд галонів етанолу більш ніж у 80 країн [3].

Бразилія займає друге місце у сфері виробництва та використання біоетанолу, але з набагато глибшою інтеграцією у внутрішній паливний ринок. У червні 2025 року країна підвищила обов'язкову частку етанолу в бензині з 27% до 30% (E30), і це рішення набрало чинності з 1 серпня 2025 року. Для Бразилії це не просто добавка до палива, а частина стратегії енергетичної самодостатності; ІЕА також зазначає, що в окремих країнах, зокрема в Бразилії, частка відновлюваних рідких палив у кінцевому енергоспоживанні транспорту значно вища за світовий середній рівень і наближається до 10% [4].

Ринок етанолу, як палива показує найбільшу динаміку в Індії. ІЕА називає її найшвидше зростаючим ринком біоенергії у світі до 2030 року, а сама країна у 2025 році досягла 20% змішування етанолу з бензином. За офіційними індійськими повідомленнями, шлях від 1,5% у 2014 році до 20% у 2025 році став одним із найшвидших прикладів масштабування політики використання етанолу у світі.

Європейський Союз не є “етанольною” системою такого типу, як Бразилія, але використання етанолу як добавки до бензину теж зростає. За USDA, у 2025 році споживання паливного біоетанолу в ЄС прогнозувалося на рівні 7,21 млрд літрів, що на 4,5% вище, ніж роком раніше, головню через розширення E10 у багатьох країнах. Водночас виробництво в ЄС теж зростає, але повністю попит не покриває, тому ЄС лишається значним імпортером етанолу [5].

Канада також розширює використання етанолу, але переважно через регуляторні вимоги до вуглецевої інтенсивності та обов'язковий вміст

відновлюваних компонентів у паливі. Наприклад, Онтаріо підвищив вимогу щодо відновлюваного вмісту в бензині до 11% у 2025 році, а Квебек рухається від 10% у 2023 році до 15% у 2030-му. За USDA, споживання паливного етанолу в Канаді у 2025 році було приблизно на 52% вищим, ніж у 2021-му [5].

У Великій Британії ключовим кроком став перехід на E10 у 2021 році. За USDA, у 2025 році споживання етанолу там і далі зростало завдяки повному впровадженню E10 та стабільному імпорту, передусім зі США.

У Латинській Америці, не враховуючи Бразилію, етанол теж закріпився, як стандартна добавка до бензину в частині країн. Наприклад, в Аргентині чинний мандат на біоетанол становить 12% і діє до 2030 року.

Світова модель використання етанолу зараз така:

1. Базовий рівень – низькі та середні суміші на кшталт E10/E15/E20 у звичайному бензині.
2. Найбільші ринки – США, Бразилія, Індія.
3. Європа, Канада, Британія та частина Латинської Америки більше використовують етанол як інструмент декарбонізації та виконання регуляторних норм, ніж як окрему «паливну цивілізацію».
4. Чистий або майже чистий етанол і дуже високі суміші типу E85 лишаються важливими, але значно менш масовими, бо потребують сумісних двигунів і спеціальної інфраструктури.

Головні переваги етанолу – зменшення нафтової залежності, підтримка внутрішнього агросектору й потенційне зниження життєвих викидів парникових газів порівняно з бензином. Головні обмеження – конкуренція за сировину, залежність від аграрних врожаїв, питання водокористування та землекористування, а також те, що вищі суміші не всюди сумісні з наявним автопарком. ІЕА прямо вказує, що фактичний кліматичний ефект сильно залежить від конкретного ланцюга постачання та стандартів сталості.

Отже, у світі етанол уже став стандартною паливною добавкою, а не експериментом. Найбільший розвиток моделі – у Бразилії, найбільший обсяг – у США, найшвидше зростання – в Індії. Найближчі роки ринок, імовірно,

зростатиме далі, але головний акцент буде не на переході всіх на «чистий етанол», а на ширшому використанні сумішей E10...E20 та підвищенні їхньої сталості. Основна інформація щодо країни (регіону), ролі етанолу в паливній сфері та тенденції розвитку етанолвмісних палив представлено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні ринки етанолу, як палива та добавки до палива

Країна / регіон	Типова суміш / мандат	Роль етанолу	Поточний стан і тренд
США	Переважає E10, розширюється E15, є E85 для flex-fuel	Головно добавка до бензину; також великий експортний товар	Найбільший виробник у світі. E10 – стандарт, E15 поступово розширюється, експорт у 2025 році був рекордним.
Бразилія	E30 у бензині з серпня 2025 року; також високі суміші й гідратний етанол	Не лише добавка, а й повноцінне транспортне паливо	Один із найрозвиненіших етанольних ринків світу; дуже глибока інтеграція в транспортний сектор.
Індія	Досягнуто E20 у 2025 році	Інструмент імпортозаміщення й декарбонізації	Найшвидше зростаючий великий ринок; різке підвищення частки етанолу за останнє десятиліття.
ЄС	Поширюється E10	Переважає добавка до бензину в межах кліматичної політики	Споживання зростає, але ринок менш “етанолоцентричний”, ніж у США чи Бразилії.
Канада	Підвищені вимоги до відновлюваного вмісту; в окремих провінціях понад 10%	Добавка до бензину для зниження вуглецевої інтенсивності	Ринок зростає завдяки федеральним і провінційним нормам.
Велика Британія	E10	Стандартна бензинова добавка	Після переходу на E10 споживання етанолу стало стабільно вищим.
Аргентина	Близько E12	Добавка до бензину	Стабільний мандат, етанол використовується як частина біо паливної політики.
Китай	Локальне та обмежене використання; не став повсюдним стандартом	Додаткова опція, а не домінуюча модель	Частка в світовому виробництві є, але внутрішнє масове впровадження слабше, ніж очікували раніше.
Україна	Найпоширеніший формат – E10	Добавка до бензину	З 1 травня 2025 року обов'язковий мінімальний вміст етанолу в бензині – 5%.
Світ загалом	Найпоширеніший формат – E10	Насамперед добавка до бензину, рідше – окреме паливо	Ринок зростає; основні центри – США, Бразилія, Індія. Глобально етанол уже став стандартним компонентом моторного палива.

Відповідно до наведеної інформації очевидно нарощування використання етанолу, як часткового замітника традиційного бензину. Всі розвинені країни на законодавчому рівні закріплюють мінімальний вміст етанолу в бензині на рівні 5...10 %.

1.2 Переваги та недоліки застосування етанолу в складі бензину

Застосування етанолу у складі бензину є одним із найбільш поширених напрямів використання біопалив у сучасному транспортному секторі, оскільки воно поєднує енергетичні, економічні та екологічні цілі, однак водночас супроводжується низкою технічних, ресурсних і експлуатаційних обмежень. Насамперед додавання етанолу до бензину дає змогу частково замінити нафтову складову моторного палива, що сприяє зменшенню залежності держав від імпорту нафти та нафтопродуктів, а для країн із розвиненим аграрним сектором створює можливість перетворення сільськогосподарської сировини на важливий елемент енергетичної безпеки. Важливою перевагою етанолу є його високе октанове число, завдяки чому він виступає ефективним компонентом для підвищення октанового числа бензину, покращує антидетонаційні властивості паливної суміші та в окремих випадках дає змогу зменшити потребу у використанні інших високооктанових компонентів нафтового походження. Крім того, як кисневмісна добавка етанол може сприяти повнішому згорянню паливної суміші, що за певних умов позитивно позначається на якості вихлопу та дає змогу знижувати викиди окремих шкідливих речовин.

Ще однією суттєвою перевагою є потенціал скорочення викидів парникових газів порівняно з традиційним бензином, особливо якщо етанол виробляється з відновлюваної сировини за відносно енергоефективними технологіями та з дотриманням критеріїв сталості. Також розвиток етанольного сегмента стимулює сільське господарство, переробну промисловість, логістичну інфраструктуру та внутрішній ринок палива, що може мати позитивний мультиплікативний економічний ефект для держави.

Водночас використання етанолу в складі бензину має і вагомі недоліки. Передусім слід враховувати, що етанол має нижчу теплоту згоряння, ніж бензин, тому зі зростанням його частки в паливній суміші зменшується загальна енергоємність палива, а це може призводити до певного підвищення витрати пального на одиницю пробігу, особливо у випадку сумішей із вищим умістом етанолу.

Ще одним важливим обмеженням є сумісність транспортних засобів і паливної інфраструктури: якщо низькі суміші на кшталт E10 зазвичай без суттєвих проблем використовуються в більшості сучасних бензинових двигунів, то вищі концентрації етанолу можуть вимагати спеціально адаптованих двигунів, паливних систем, ущільнювачів та матеріалів, стійких до його фізико-хімічних властивостей. Етанол є більш гігроскопічним, ніж бензин, тобто він активніше поглинає воду, що ускладнює зберігання, транспортування і використання палива, особливо в умовах порушення герметичності або недосконалості паливної інфраструктури. Також за певних умов це може спричиняти фазове розшарування суміші та негативно впливати на стабільність її властивостей.

Окрему проблему становить сировинна база виробництва етанолу, оскільки його масове отримання часто базується на сільськогосподарських культурах, таких як кукурудза або цукрова тростина, а це створює конкуренцію за землю, воду, добрива та інші ресурси між паливним і продовольчим секторами. У разі нераціонального розширення виробництва можливе посилення тиску на земельні ресурси, зміни у структурі землекористування, зростання водоспоживання та опосередковані екологічні наслідки, що частково нівелюють очікуваний кліматичний ефект.



Рисунок 1.3 – Переваги та недоліки застосування біоетанолу в бензині

Джерело: створено автором

Крім того, екологічні переваги етанолу не є автоматичними: фактичний рівень скорочення викидів залежить від культури-сировини, способу її вирощування, витрат енергії на переробку, джерела цієї енергії, логістики та побічних змін у землекористуванні, тому в окремих випадках реальний екологічний вигаш може бути помітно нижчим, ніж декларується.

Таким чином, застосування етанолу в складі бензину доцільно розглядати як компромісне рішення [6], яке здатне забезпечити зниження нафтової залежності, покращення октанових характеристик палива та певне скорочення вуглецевого сліду транспортного сектору, проте його ефективність і доцільність безпосередньо залежать від частки етанолу в суміші, технічної сумісності двигунів, рівня розвитку паливної інфраструктури, якості нормативного регулювання та дотримання принципів екологічної й ресурсної сталості.

1.3 Аналіз досліджень у сфері застосування біоетанолу

У сучасних дослідженнях біоетанол розглядається як один із найперспективніших відновлюваних компонентів моторних палив для двигунів із іскровим запалюванням. Це пояснюється його високим октановим числом, значним вмістом кисню в молекулі та можливістю одержання з біомаси й аграрної сировини. У більшості наукових праць підкреслюється, що додавання етанолу до бензину покращує антидетонаційні властивості палива, сприяє повнішому згорянню суміші та відкриває можливість підвищення ступеня стиску в двигунах, спеціально адаптованих під високооктанові суміші. Разом з тим ефект від застосування біоетанолу значною мірою залежить від його концентрації в паливі, конструкції двигуна, системи живлення, алгоритмів керування та режимів роботи [7].

Однією з найчастіше згадуваних у літературі переваг біоетанолу є підвищення детонаційної стійкості бензину. Високе октанове число етанолу дає змогу зменшити схильність паливо-повітряної суміші до самозаймання, що особливо важливо для сучасних високо форсованих бензинових двигунів. У роботах, присвячених паливним сумішам E10, E15, E20 і вищим, зазначається, що за рахунок антидетонаційного ефекту та інтенсивнішого випаровуванню охолодження заряду можна підвищити термічну ефективність двигуна, особливо якщо його параметри спеціально оптимізовані під етаноловмісне паливо. Для низьких і середніх часток етанолу в бензині автори часто повідомляють про зростання ефективності згоряння та покращення окремих показників потужності, однак за стандартного налаштування двигуна цей ефект не завжди реалізується повною мірою [7].

Важливим питанням є вплив біоетанолу на ефективні показники двигуна. Більшість дослідників відзначає, що при використанні невеликих домішок етанолу, зокрема E5–E15, можливо досягти стабільної роботи двигуна без істотного погіршення тягово-потужнісних характеристик, а в окремих режимах навіть спостерігається певне поліпшення ефективності та повноти згоряння.

Наприклад, у низці експериментальних та оглядових праць повідомляється, що суміші в межах E10...E20 можуть забезпечувати сприятливий компроміс між потужністю, питомою витратою палива та екологічними показниками. Водночас зі збільшенням частки етанолу до високих значень дедалі помітнішим стає інший фактор – нижча теплота згоряння порівняно з бензином. Саме тому, за відсутності спеціального налаштування системи керування двигуном часто зростає об'ємна витрата палива, а інколи спостерігається й зниження потужності [8].

Роботи деяких дослідників присвячено екологічним наслідкам використання біоетанолу. Найбільш усталеним висновком є те, що додавання етанолу до бензину зазвичай сприяє зменшенню викидів оксиду вуглецю (CO) та незгорілих вуглеводнів (HC), оскільки кисень у молекулі етанолу поліпшує окиснення палива в циліндрі. Сучасні експериментальні дослідження підтверджують зниження CO зі збільшенням вмісту біоетанолу в суміші, а в багатьох випадках також фіксують зниження HC. Однак щодо оксидів азоту (NO_x) результати літератури є менш однозначними: в одних роботах їх кількість зменшується, в інших – зростає або змінюється неістотно, що пояснюють різницею у температурному режимі згоряння, складі суміші та умовах випробувань. Так само не є однозначною оцінка викидів CO₂ на вихлопі: інколи вони зростають через більш повне згоряння, хоча в ширшому життєвому циклі біоетанол часто розглядається як паливо з потенційно нижчим вуглецевим слідом [9].

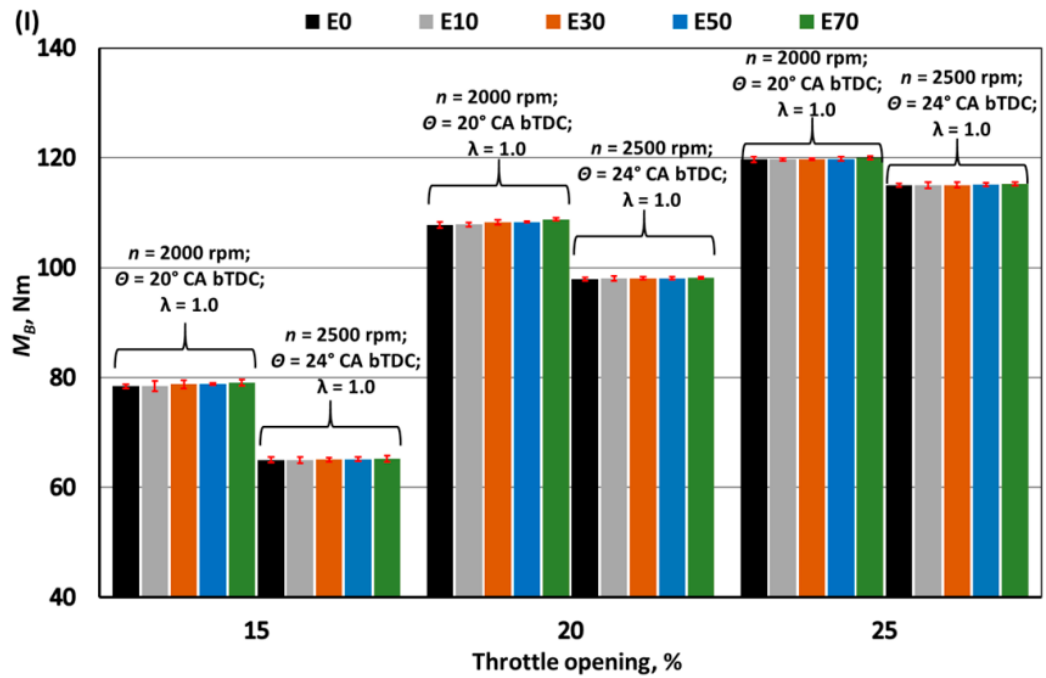


Рисунок 1.4 – Вплив концентрації біоетанолу в бензині на крутний момент ДВЗ
Джерело: [9]

Відповідно до наведених результатів[9] очевидно (рис. 1.4), що крутний момент майже не змінюється в залежності від концентрації біоетанолу в бензині та більше залежить від кута випередження запалювання.

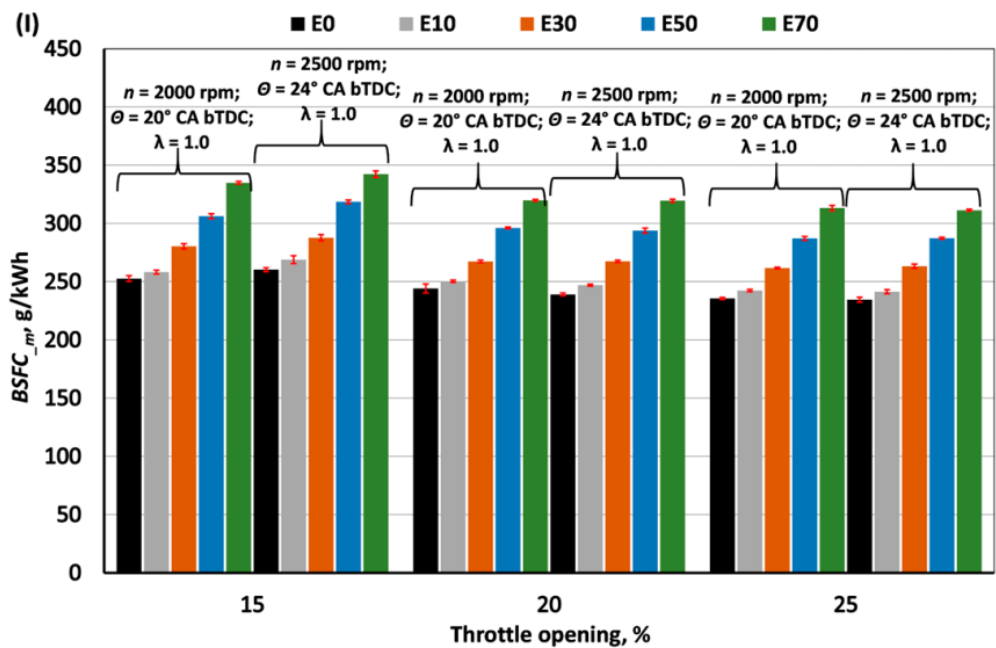


Рисунок 1.5 – Вплив концентрації біоетанолу в бензині на питому витрату палива
Джерело: [9]

На рис. 1.5 наведено результати щодо впливу концентрації біоетанолу в бензині на питому витрату палива та ступеню відкриття дросельної заслінки. Наведені результати свідчать, що збільшення вмісту біоетанолу призводить до суттєвого зниження питомої витрати пального. При цьому, слід зауважити, що незначний вміст біоетанолу 10 % не має суттєвої переваги щодо питомої витрати пального, у порівнянні із чистим бензином. Суттєве зростання зафіксовано тільки при концентрації 50 % і вище.

За результатами досліджень [10] наведеними на рис. 1.6, та 1.7 можна зробити висновок, що використання палива E85 загалом позитивно впливає на процес згоряння в двигуні, однак цей ефект суттєво залежить від складу суміші та режиму впорскування. Під час переходу з бензину на E85 завдяки наявності кисню в етанолі згоряння відбувається повніше, що сприяє зменшенню викидів CO, особливо за стехіометричних і збіднених умов, де їх рівень може знижуватися майже до нуля.

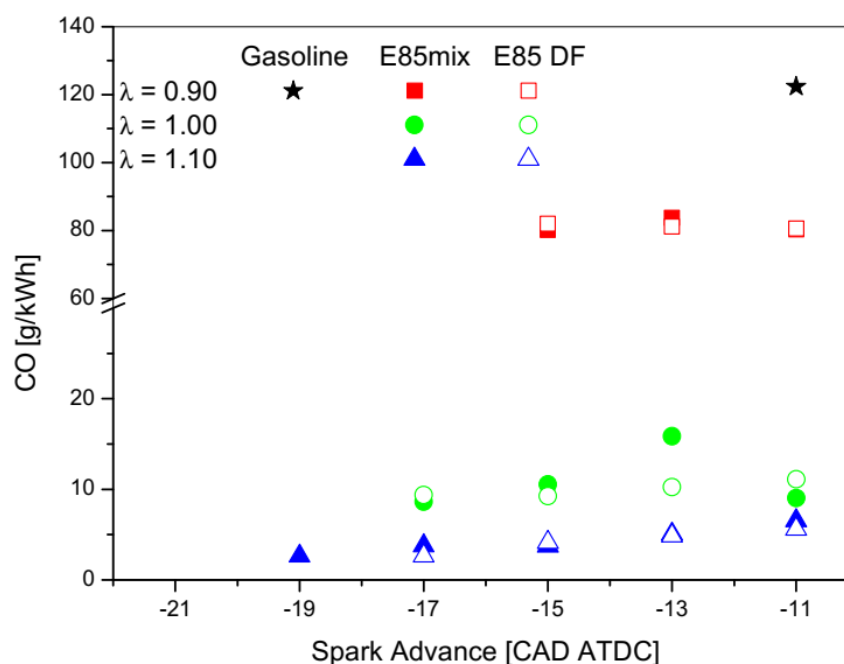
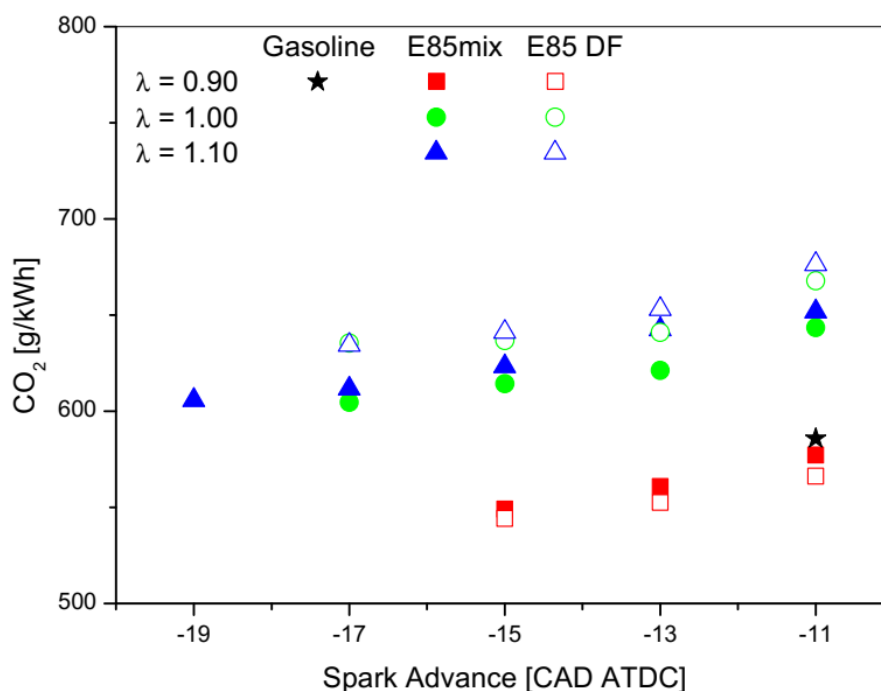


Рисунок 1.6 – Вплив випередження запалювання та різних значень λ на питомі викиди CO

Джерело: [10]



б

Рисунок 1.7 – Вплив випередження запалювання та різних значень λ на питомі викиди CO_2

Джерело: [10]

Одночасно спостерігається підвищення викидів CO_2 , що також підтверджує кращу повноту згорання палива (рис. 1.7).

Поряд із позитивними ефектами у літературі детально описано й низку технічних проблем, пов'язаних із використанням етанолвмісних бензинів. Передусім дослідники звертають увагу на високу теплоту випаровування етанолу, що покращує охолодження заряду, але одночасно може погіршувати пускові властивості двигуна за низьких температур. Для високих концентрацій етанолу, зокрема E85, у джерелах часто відзначають труднощі холодного запуску, підвищені викиди органічних сполук у період прогрівання та необхідність спеціального калібрування двигуна. За даними IEA AMF, саме холодний пуск є одним із складних режимів для палив із високою часткою етанолу, оскільки через гіршу випаровуваність можливе зростання частки незгорілих органічних компонентів у викидах.

Не менш важливим напрямом досліджень є сумісність біоетанолу з матеріалами паливної системи та деталей двигуна. Через полярність і гігроскопічність етанол здатний активізувати корозійні процеси, особливо за наявності води, домішок або тривалої дії на металеві елементи. У роботах з корозійної стійкості вказано, що в середовищі біоетанол-бензинових сумішей підвищену чутливість можуть проявляти мідь, вуглецева сталь та деякі інші метали, тоді як нержавіюча сталь і деякі захисні покриття демонструють кращу стійкість. Також у літературі є вказівки на можливий вплив продуктів неповного згоряння етанолу на стан моторної оливи, що за несприятливих умов може посилювати зношування та корозію окремих елементів. Саме тому, для тривалої та надійної експлуатації двигунів на паливі з підвищеним вмістом етанолу необхідний правильний вибір матеріалів, ущільнень, покриттів і мастильних матеріалів.

Аналіз публікацій показує, що найбільш прийнятними для серійних бензинових двигунів без суттєвих конструктивних змін зазвичай вважають низькі та середні суміші, насамперед E5, E10 і часто E15...E20, хоча конкретна межа безпечної та ефективної експлуатації залежить від типу паливної системи, року випуску автомобіля та заводських допусків. Ще в ранніх фундаментальних роботах зазначалося, що бензино-етанольні суміші до приблизно 20 % етанолу можуть використовуватися без істотних пошкоджень конструкції двигуна, тоді як вищі концентрації вже частіше потребують адаптації паливної системи та керування. Для сучасних двигунів із безпосереднім упорскуванням та системами електронного керування можливості використання етанолу ширші, але результати все одно залишаються змішаними: одні дослідження демонструють позитивний ефект щодо частини токсичних викидів, інші вказують на специфічні проблеми з випаровуваністю, холодним пуском або частинками в певних режимах.

Таким чином, огляд літератури дає підстави стверджувати, що вплив біоетанолу на роботу ДВЗ є комплексним і залежить не лише від фізико-хімічних властивостей палива, а й від ступеня адаптації двигуна до такого пального. Для

бензинових двигунів додавання біоетанолу зазвичай забезпечує покращення антидетонаційних властивостей, зниження викидів CO і HC та потенційне підвищення ефективності згоряння. Разом з тим, нижча теплота згоряння етанолу, може спричиняти збільшення витрати палива, а висока теплота випаровування та гігроскопічність – ускладнення холодного пуску, ризики корозії та підвищені вимоги до матеріалів паливної системи. Отже, біоетанол доцільно розглядати не лише як екологічну добавку до бензину, а як паливний компонент, ефективність якого найбільш повно реалізується за умов належного конструкторського та експлуатаційного узгодження з конкретним двигуном [7].

1.4 Обґрунтування теми дипломного проєкту

При використанні суміші бензину та етанолу виникає потреба у встановленні змішувача в баку, оскільки така паливна система повинна забезпечувати максимально однорідний склад пального перед його подачею до двигуна. Це пояснюється тим, що бензин і етанол мають різні фізико-хімічні властивості, зокрема відрізняються густиною, випаровуваністю та здатністю взаємодіяти з вологою. Етанол є гігроскопічним, тобто здатний поглинати воду з навколишнього середовища, а це може негативно впливати на стабільність паливної суміші під час тривалого зберігання або експлуатації. Якщо склад пального в баку буде неоднорідним, це може призвести до нестабільної роботи двигуна, зміни процесу згоряння, коливань потужності та погіршення екологічних показників.

Саме тому встановлення змішувача в баку є доцільним і технічно обґрунтованим рішенням. Його основне призначення полягає в тому, щоб підтримувати рівномірний розподіл етанолу в об'ємі бензину та не допускати локальної зміни складу паливної суміші. Особливо важливо це в умовах, коли паливо в баку певний час перебуває без руху або коли заправлення компонентами здійснюється окремо. У таких випадках змішувач дозволяє

забезпечити більш стабільні властивості пального по всьому об'єму бака, що позитивно впливає на роботу паливної апаратури та самого двигуна.

З конструктивної точки зору для бака зі сумішшю бензину та етанолу доцільно застосовувати простий змішувач, який не створює надмірного аерування палива і не ускладнює конструкцію системи. Це пов'язано з тим, що паливо є легкозаймистим, тому надмірне механічне перемішування небажане. У цьому випадку змішувач повинен виконувати не інтенсивне перемішування, а м'яке підтримання однорідності суміші. Крім того, матеріал змішувача має бути стійким до дії бензину, етанолу та можливого впливу вологи, щоб забезпечити довговічність і надійність роботи.

Отже, необхідність встановлення змішувача в бак при використанні суміші бензину та етанолу пояснюється потребою зберігати однорідність пального, забезпечувати стабільну роботу двигуна та зменшувати ризик порушення процесу сумішоутворення і згоряння. Такий елемент є важливою частиною паливної системи, оскільки сприяє підвищенню надійності роботи двигуна та покращенню експлуатаційних показників під час використання альтернативного палива.

Саме тому, метою дипломного проєкту є обґрунтування конструкції змішувача для паливного баку вантажного автомобіля, який працює на суміші бензину та біоетанолу.

Для досягнення вказаної мети в роботі виконували такі завдання:

1. Проаналізувати використання етанолу в якості пального в світі, переваги та недоліки застосування.
2. Розглянути конструктивні особливості змішувачів, розробити оптимальну конструкцію для застосування в паливному бакові.
3. Виконати інженерно-технічні розрахунки запропонованої конструкції змішувача.
4. Навести вимоги охорони праці при роботі з бензином та етанолом.
5. Виконати техніко-економічні розрахунки розробленого удосконалення.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗМІШУВАЧА

2.1 Обґрунтування необхідності використання змішувача для суміші бензину та біоетанолу

У працях українських учених питання використання етанолу в суміші з бензином розглядається, як досить перспективний напрям удосконалення моторних палив, особливо в умовах зростання уваги до екологічності транспорту та зменшення залежності від традиційних нафтопродуктів. У вітчизняних дослідженнях найчастіше аналізують вплив етанолу на показники роботи бензинових двигунів, зміну фізико-хімічних властивостей палива, стабільність бензино-етанольних сумішей, а також можливість їх практичного використання в Україні [11-14]. Так як умови в Україні досить різноманітні, зокрема в холодну пору року можуть досить довго триматися температури $-10...15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це вимагає певних особливих умов застосування таких паливних сумішей.

У більш ранніх українських роботах етанол розглядався передусім як екологічно більш безпечний компонент моторного палива. Зокрема, у праці зазначено, що етанол може використовуватися як добавка до бензину, а суміші типу бензанолів із вмістом спирту 5-10 % уже були нормативно визначені в Україні. Автори також навели результати, за якими збільшення частки етилового спирту в паливі супроводжувалося зменшенням вмісту окремих компонентів забруднення у вихлопних газах, а бензин А-92 з 50 % добавкою етилового спирту набував антидетонаційних властивостей, близьких до бензину А-95 [11].

У сучасніших українських дослідженнях більше уваги приділяється вже не лише загальним перевагам біоетанолу, а й проблемам практичної адаптації бензинових двигунів до роботи на такому паливі. Так, у роботі [12] показано, що біоетанол відрізняється від бензину за фізико-хімічними властивостями, а це змінює коефіцієнт надлишку повітря, теплотворну здатність суміші та межі її запалювання. Автори відзначають, що додавання 25 % біоетанолу зменшує теплотворну здатність паливо-повітряної суміші приблизно на 9 %, а за

концентрації 30-60 % суміш може виходити за межі запалюваності без додаткових технічних рішень. Разом з тим вони вказують, що більшість сучасних двигунів здатні працювати на паливі з вмістом етанолу до 15 % без істотних конструктивних змін, тоді як для вищих концентрацій уже потрібне програмне або апаратне доопрацювання системи керування двигуном [12]. Зокрема, автори пропонують використовувати спеціальні адаптери для коригування тривалості впорскування палива для електромагнітних форсунок.

Окремий напрям українських досліджень стосується не стільки самого процесу згоряння, скільки стабільності сумішей бензину та етанолу. Це питання є дуже важливим для практичного використання таких палив, оскільки етанол здатний поглинати воду, а це може викликати розшарування палива. У роботі [13] розроблено методику дослідження розшарування обводнених сумішевих бензинів і запропоновано комплексну присадку-стабілізатор на основі поверхнево-активних речовин. Автори показали, що така присадка може поліпшувати фазову стійкість спиртовмісних бензинів і тим самим підвищувати їх експлуатаційні та екологічні характеристики [13]. Закордонні виробники пропонують широкий спектр спеціальних присадок, що спрямовані на покращення роботи ДВЗ на пальному, в склад якого входить етанол [15]. Проте, їх вартість становить в середньому 300...350 грн (на 40...60 л), що у розрахунку на 1 л бензину становить 6,4 грн. Це досить суттєво впливає на кінцеву вартість такого пального та зменшує його економічну ефективність у порівнянні із чистим бензином.

Подібні висновки простежуються і в роботах, присвячених особливостям застосування біоетанолу в Україні. У таких публікаціях наголошується, що для вітчизняних умов важливими є не лише екологічні переваги біоетанолу, а й технологічні аспекти його використання, зокрема стабільність паливних сумішей, вплив кліматичних факторів та необхідність дотримання вимог до якості пального. Це свідчить про те, що українські дослідники підходять до питання використання етанолу з бензином досить комплексно, поєднуючи оцінку екологічних, технічних і експлуатаційних чинників [13, 14].

Таким чином, аналіз праць українських учених показує, що використання етанолу в суміші з бензином оцінюється загалом позитивно, однак без зайвого перебільшення його переваг. З одного боку, етанол підвищує октанове число бензину, може зменшувати токсичність відпрацьованих газів і розглядається як перспективний шлях до часткової заміни традиційних нафтових палив. З іншого боку, українські науковці звертають увагу на зменшення теплотворної здатності суміші, можливе погіршення окремих показників роботи двигуна за високих концентрацій етанолу, а також на проблему фазової стабільності бензино-етанольного палива. Тому, в більшості вітчизняних робіт робиться висновок, що ефективне використання етанолу з бензином потребує не лише правильного вибору складу суміші, а й технічної адаптації двигуна та забезпечення стабільності самого палива.

Це важливо тому, що ефективність палива, що містить бензин та етанол, залежить не лише від його впливу на двигун, а й від здатності зберігати однорідність під час зберігання та подачі до паливної системи.

Отже, проблема розшарування суміші бензину та біоетанолу є однією з ключових при практичному використанні такого палива. Вона зумовлена гігроскопічністю етанолу, обмеженою стабільністю системи бензин–етанол–вода та впливом температури. Наслідком розшарування є погіршення паливних властивостей, ризик порушення роботи двигуна і зниження надійності паливної системи (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Візуалізація розшарування суміші бензину та етанолу, основні причини та наслідки



Рисунок 2.2 – Розшарування суміші бензину та етанолу після відстоювання протягом 48 годин (в нижній частині прозорий шар етанолу)

Джерело: зроблено автором

На рисунку 2.2 представлено фото суміші бензину та етанолу у співвідношенні 85 % та 15 % відповідно після відстоювання протягом 48 годин. В нижній частині колби чітко спостерігається прозорий шар етанолу, далі бензин із частинками етанолу.

Саме тому, в практиці застосування бензино-етанольних палив важливими є контроль вологи, обмеження тривалого зберігання, використання герметичних баків і, за потреби, введення спеціальних стабілізаційних добавок

Одним із ефективним рішенням щодо забезпечення фазової стабільності етанолвмісних бензинів є встановлення в бензобак спеціальних змішувачів, які вмикаються на певний короткий час перед запуском ДВЗ, і потім вимикаються. Це дозволяє перемішувати паливо та створювати рівномірне розподілення компонентів в загальному об'ємі. Короткотривала робота необхідна саме для початкового перемішування, так як в подальшому паливо буде перемішуватися зворотнім потоком пального із системи паливоподачі.

2.2 Аналіз конструкцій змішувачів

За принципом дії змішувачі для рідини поділяються на: механічні, статичні, пневматичні та гідравлічні.

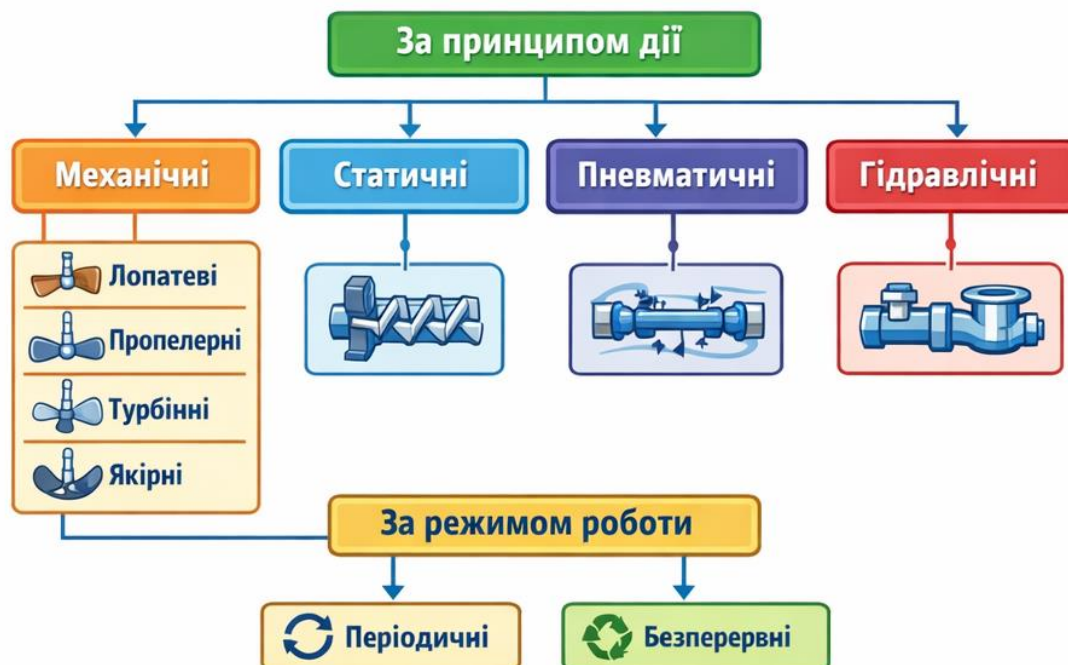


Рисунок 2.3 – Класифікація змішувачів для рідин за принципом дії

Механічні змішувачі мають найбільш широке застосування, оскільки вони підходять для перемішування багатьох видів рідин. Їх використовують у хімічній, харчовій, фармацевтичній промисловості, у сільському господарстві, а також у системах підготовки води. Такі змішувачі добре підходять для приготування розчинів, суспензій, емульсій, рідких добрив, сиропів, мийних засобів та інших сумішей, де потрібно забезпечити достатньо інтенсивне і кероване перемішування.

Статичні змішувачі частіше застосовують у потокових системах, де змішування відбувається без рухомих частин. Їх можна зустріти у трубопроводах, системах дозування реагентів, установках водоочищення, а також у хімічній, харчовій і нафтогазовій галузях. Такі змішувачі зручні в тих випадках, коли потрібно безперервно змішувати рідини під час їх руху, а також

коли важливими є простота конструкції, надійність у роботі та невеликі витрати на обслуговування.

Пневматичні змішувачі використовують тоді, коли перемішування здійснюється за допомогою повітря або іншого газу. Їх доцільно застосовувати у випадках, коли середовище є агресивним, вибухонебезпечним або коли потрібно дотримуватися стерильних умов. Такі змішувачі використовують у хімічній і фармацевтичній промисловості, у біотехнологічних процесах, на очисних спорудах, а також під час аерації, бродіння чи перемішування стічних вод. Їх перевага полягає в тому, що вони дають змогу обійтися без складних механічних вузлів усередині ємності.

Гідравлічні змішувачі працюють завдяки руху струменів рідини, тому їх часто застосовують у системах водопостачання, водоочищення та на різних гідротехнічних об'єктах. Також їх використовують під час приготування розчинів, суспензій і в тих технологічних процесах, де перемішування можна забезпечити за рахунок циркуляції рідини. Такі змішувачі доцільно застосовувати для введення реагентів у воду, підтримання однорідності рідких середовищ у резервуарах, а також у випадках, коли небажано ускладнювати конструкцію обладнання великою кількістю механічних елементів. Загалом їх використання є зручним у тих процесах, де важливими є простота, надійність і можливість ефективного перемішування без складного механічного приводу.

Для конструкції паливного баку актуальним є використання механічних змішувачів, так як вони мають незначний розмір, простоту конструкції та легкість встановлення у вже готову ємність.

Тому, в подальшому розглянемо особливості конструкцій механічних змішувачів, їх переваги та недоліки, в залежності від форми робочих органів.

Класифікація механічних типів змішувачів для рідин представлена на рис. 2.4. За типом змішувача вони поділяються на: пропелерний, турбінний, лопатевий та дисковий.



Рисунок 2.4 – Типи механічних змішувачів

Пропелерні змішувачі мають робочий орган у вигляді гвинта з 2–4 лопатями. Під час обертання вони створюють переважно осьовий потік рідини, завдяки чому вміст ємності добре циркулює по всьому об'єму. Їх перевагою є те, що вони досить ефективно перемішують малов'язкі рідини, мають відносно просту конструкцію, не потребують надто великої кількості металу для виготовлення та можуть використовуватися у резервуарах великого об'єму. Разом із тим при роботі з більш в'язкими середовищами їх ефективність знижується. Крім того, на поверхні рідини може утворюватися воронка, тому в ємності часто встановлюють перегородки. Також пропелерні змішувачі не завжди забезпечують достатньо якісне тонке диспергування.

Турбінні змішувачі мають робочий орган у вигляді колеса з прямими або вигнутими лопатями. Під час роботи вони створюють радіальний або радіально-осьовий потік і забезпечують більш інтенсивне перемішування, ніж пропелерні. Такі змішувачі добре підходять для процесів, де, крім звичайного перемішування, потрібно ще й диспергувати газ у рідині або посилити

масообмін. До їх переваг можна віднести високу інтенсивність роботи, універсальність і добру ефективність у багатьох технологічних процесах. Проте вони споживають більше енергії, мають складнішу конструкцію та створюють більші навантаження на вал і привід. Тому для простого перемішування малов'язких рідин їх застосування не завжди є найбільш економічним.

Лопатеві змішувачі складаються з однієї або кількох плоских лопатей, закріплених на валу. Вони забезпечують помірний рух рідини, переважно в тангенціальному та частково радіальному напрямках. Основними їх перевагами є проста будова, невисока вартість, надійність і зручність у використанні. Такі змішувачі доцільно застосовувати тоді, коли потрібно повільно перемішувати рідину або лише вирівняти концентрацію її складових. Однак за інтенсивністю роботи вони поступаються іншим типам, слабше забезпечують циркуляцію в глибоких резервуарах і не дуже ефективні при великих об'ємах. Крім того, їх можливості щодо диспергування є обмеженими.

Дискові та зубчасто-дискові змішувачі мають робочий орган у вигляді диска, іноді із зубчастою крайкою. Їх використовують у тих випадках, коли потрібно створити сильний локальний зсув рідини. Вони забезпечують високу швидкість зсуву, сприяють подрібненню крапель і частинок та дають змогу отримувати емульсії й суспензії невеликої концентрації. Разом із цим такі змішувачі споживають досить багато енергії, а їх дія переважно зосереджена в окремій зоні. У великих резервуарах для кращого результату часто доводиться використовувати додаткові елементи для циркуляції рідини. Також під час роботи може виникати аерація, тобто насичення рідини повітрям.

Для малов'язких рідин, зокрема палива, найчастіше доцільно використовувати пропелерні та турбінні змішувачі. Пропелерні змішувачі є більш економічними та добре забезпечують циркуляцію рідини в усьому об'ємі ємності, тому їх зручно застосовувати для звичайного перемішування, розчинення та вирівнювання складу. Турбінні змішувачі краще підходять для тих процесів, де потрібно отримати більш інтенсивне перемішування, диспергування або аерацію. Лопатеві змішувачі, хоча й мають просту конструкцію та невисоку

вартість, за ефективністю поступаються пропелерним і турбінним, тому частіше використовуються для простіших операцій. Отже, вибір певного типу змішувача залежить від того, наскільки інтенсивно потрібно перемішувати рідину, які допустимі енерговитрати, якою є конструкція резервуара та які вимоги ставляться до самого технологічного процесу.

2.3 Патентний огляд щодо удосконалення конструкції механічних змішувачів

Зазвичай, вдосконалення механічних змішувачів для рідин відбувається переважно у кількох напрямках. До них належать оптимізація форми робочих органів, підвищення інтенсивності перемішування, зменшення енерговитрат, покращення циркуляції рідини в апараті, зниження воронко утворення, а також поєднання процесів перемішування з диспергуванням, гомогенізацією чи масообміном. Такі тенденції простежуються як у зарубіжних, так і в українських патентних розробках.

Серед українських патентів насамперед слід відзначити UA 68866 U [16] (рис. 2.5). У цій корисній моделі описано вертикальний циліндричний корпус із валом та нижньою мішалкою, а також додаткову мішалку з позитивною плавучістю, яка може переміщуватися вздовж валу та розміщуватись на поверхні рідини. Така конструкція спрямована на покращення перемішування при поверхневого шару та зменшення застійних зон у верхній частині ємності. Це рішення є цікавим прикладом вдосконалення класичного змішувача за рахунок введення додаткового рухомого робочого органу.

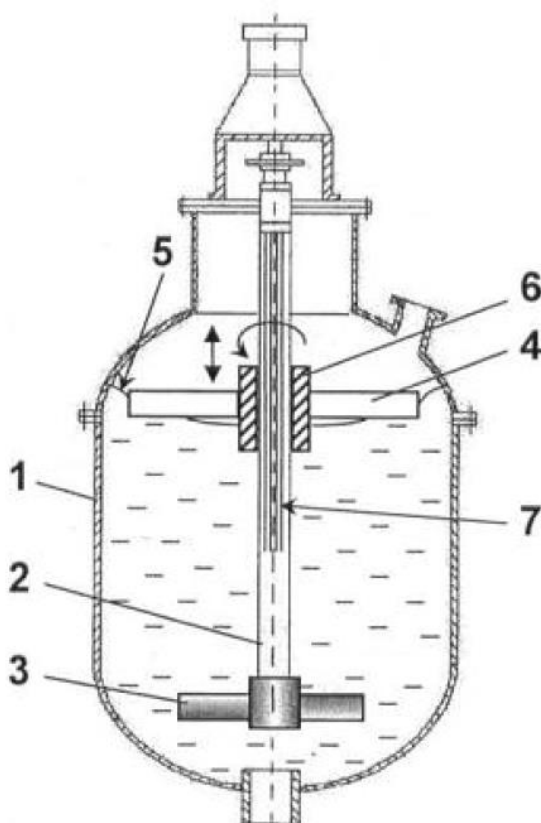


Рисунок 2.5 – Змішувач відповідно до патенту UA 68866 U: 1 – корпус змішувача; 2 – вал; 3 – нижня мішалка; 4 – мішалка, з можливістю переміщення у вертикальному напрямку; 5 – поверхні рідини; 6 – втулка

Джерело: [16]

Таке конструктивне виконання змішувача дає змогу помітно розширити його технологічні можливості, оскільки забезпечує якісне перемішування рідини незалежно від об'єму, що знаходиться в апараті. Використання запропонованого змішувача, який є відносно простим у виготовленні та зручним в експлуатації, сприяє підвищенню ефективності його застосування в різних технологічних процесах.

Ще одним цікавим рішенням є патент UA 142177 U [17]. У цій корисній моделі запропоновано турбінну мішалку з двома дзеркально розташованими каналами конічного перерізу, перегородками та клапаном. В описі зазначено, що таке виконання сприяє перемішуванню рідини по всьому об'єму та усуває недоліки відомих рішень, зокрема проблему воронко утворення.

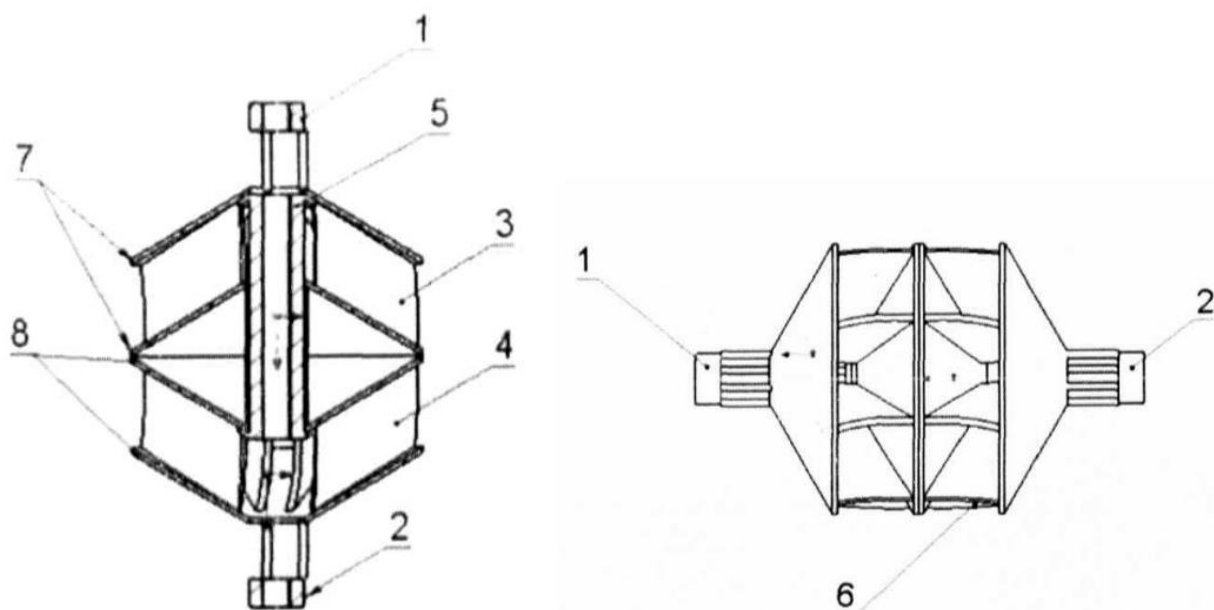


Рисунок 2.6 – Турбінна мішалка: 1, 2 - муфти; 3, 4 канали з конічним поперечним перерізом; 5 – клапан; 6 – перегородка; 7, 8 – поверхні каналів

Джерело: [17]

Розглянутий патент є прикладом удосконалення саме турбінних змішувачів, де важливим є не тільки обертання робочого органу, а й організація потоків усередині самої мішалки.

Патент US6089748A [18] стосується не стільки самого процесу перемішування, скільки забезпечення більш стійкої роботи механічного змішувача в умовах, коли рівень рідини в резервуарі змінюється. У патенті зазначається, що проблема з'являється тоді, коли імпелер наближається до вільної поверхні рідини, частково виходить із неї або оголюється, наприклад під час спорожнення ємності (рис. 2.7). У такому випадку змінюються сили, які діють на вал і робочий орган, через що вал може почати коливатися в поперечному напрямку. Якщо ці коливання збігаються або наближаються до власної частоти системи «вал–імпелер», може виникнути резонанс, що небажано впливає на роботу змішувача і навіть може призвести до пошкодження окремих елементів конструкції.

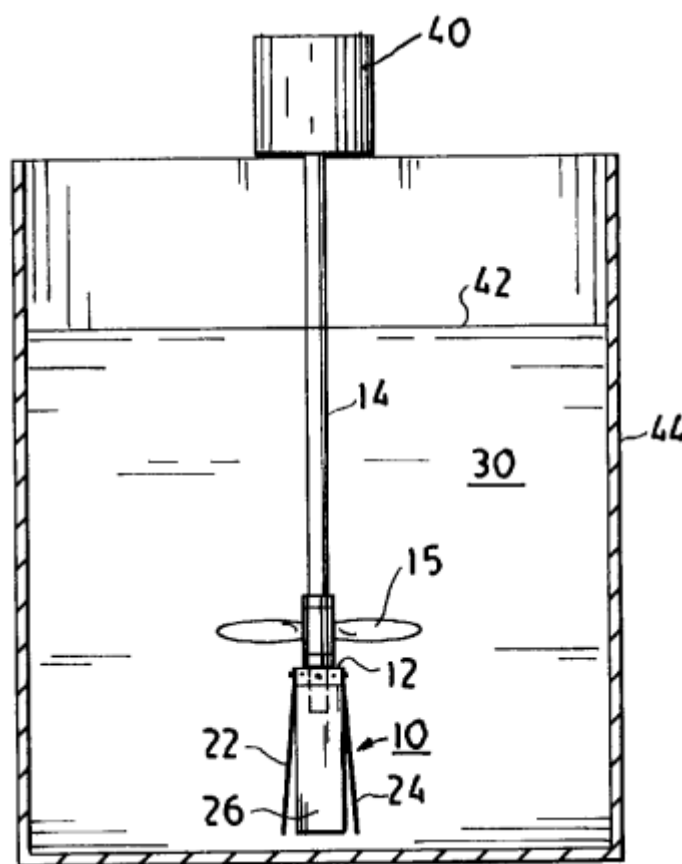


Рисунок 2.7 – Змішувач за патентом US6089748A

Джерело: [18]

Суть запропонованого рішення полягає в тому, що на вал змішувача встановлюється спеціальний стабілізуючий елемент у вигляді пружних деталей, які обертаються разом із валом і розташовуються нижче рівня рідини. В анотації патенту зазначено, що такий пристрій може бути виконаний у формі радіально розміщених пар пружних пластин, які закріплюються на валу за допомогою комірця. Під час роботи ці пластини допомагають зменшити надмірні коливання змішувача, особливо тоді, коли робочий орган знаходиться поблизу поверхні рідини.

Принцип роботи цього пристрою базується на двох основних чинниках. Перший пов'язаний із взаємодією пластин із рідиною: коли вал починає відхилятися, пластини, занурені в рідину, відчувають її опір, і за рахунок цього виникають сили, які стримують коливання. Другий чинник пов'язаний із пружними властивостями самих пластин, оскільки вони частково працюють як

елементи, що повертають систему у стійкіше положення. Таким чином, у патенті показано, що зменшення коливань досягається одночасно за рахунок опору рідини та пружності матеріалу пластин.

Подібний підхід розвинено і в патенті US8220986B2 [19] (рис. 2.8).

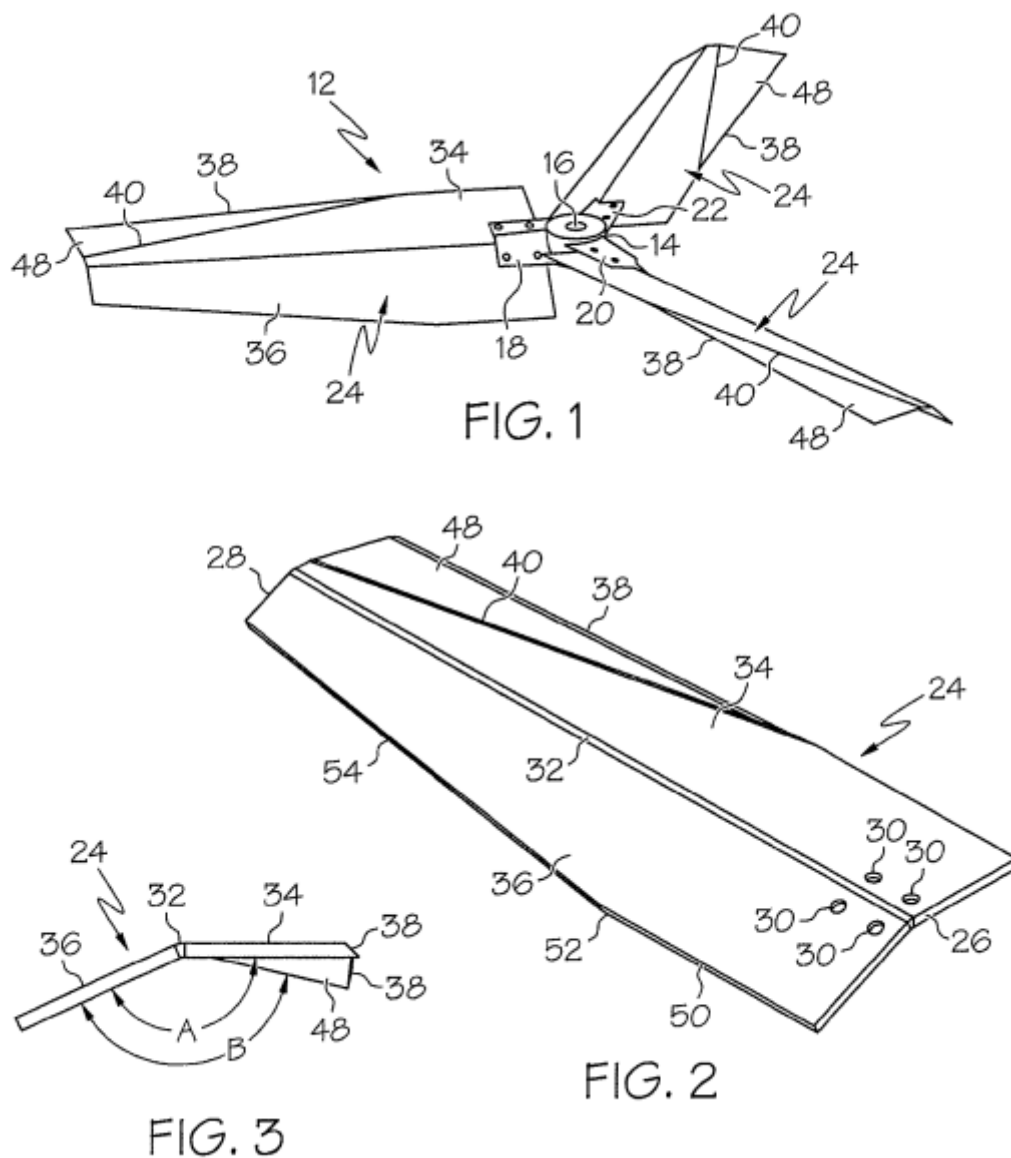


Рисунок 2.8 – Конструкція робочого органу змішувача за патентом
US8220986B2

Джерело: [19]

У роботі [19] зроблено на формі лопатей та їх орієнтації для підвищення гідродинамічної ефективності. Такі патенти є важливими, оскільки показують,

що навіть класичні мішалки продовжують удосконалюватися насамперед за рахунок оптимізації робочого органу.

Узагальнюючи результати патентного аналізу, можна зазначити, що зарубіжні розробки частіше спрямовані на підвищення енергоефективності, оптимізацію форми лопатей та покращення взаємодії мішалки з геометрією апарата. Водночас українські патенти помітно орієнтовані на створення більш інтенсивних систем змішування, зокрема роторно-пульсаційних, кавітаційних і комбінованих апаратів. Такий підхід пов'язаний із прагненням не лише перемішувати рідину, а й одночасно забезпечувати диспергування, гомогенізацію, емульгування або активацію масообмінних процесів.

Отже, патентний огляд показує, що сучасний розвиток механічних змішувачів для рідин відбувається у напрямі поєднання традиційних конструктивних рішень із новими способами організації руху рідини в апараті. Це дозволяє підвищити ефективність перемішування, знизити енерговитрати та розширити сферу використання змішувального обладнання в різних галузях промисловості.

2.4 Обґрунтування конструкції змішувача

Після аналізу переваг і недоліків різних робочих органів змішувачів можна зробити висновок, що найпростішим із них є лопатевий змішувач. Проте такий змішувач має один суттєвий недолік – слабка циркуляція. Вирішити цю проблему можна шляхом використання декількох робочих органів лопатевого типу з різною формою та жорстко зафіксованими на вертикальному валу (рис. 2.9).

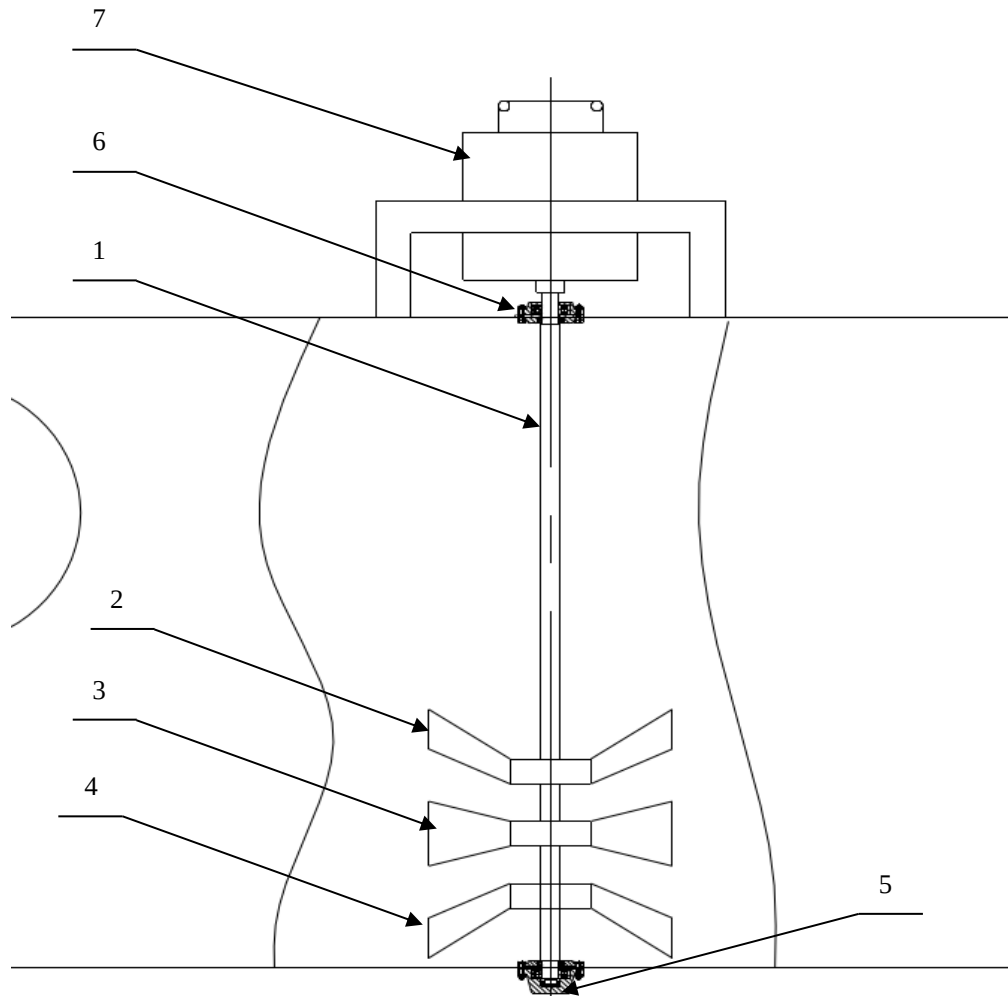


Рисунок 2.9 – Схематичне зображення запропонованого змішувача для суміші бензину та етанолу: 1 – вал; 2 – верхня лопать; 3 – центральна лопать; 4 – нижня лопать; 5 – нижня підшипникова опора; 6 – верхня підшипникова опора; 7 – електродвигун

Запропонована комбінація декількох різних форм лопатей 2, 3 та 4 (рис 2.9) та їх розташування дозволяє підвищити циркуляцію суміші не тільки в горизонтальному, а й інтенсивне перемішування шарів, що розташовані у вертикальній площині.

Конструктивно змішувач складається із валу 1 на якому розміщено три лопатеві мішалки 2, 3 та 4 із різними формами лопатей. Одна із них 4 направлена скошеними лопатями вниз баку. Друга 3 (центральна) має лопаті у формі трапеції. Верхня лопать 2 аналогічна за конструкцією нижній, тільки розвернута на 180° відносно першої. Разом такий набір лопатей дозволяє виконувати

ефективне перемішування рідини у всіх напрямках. При цьому енергозатрати такої конструкції незначні.

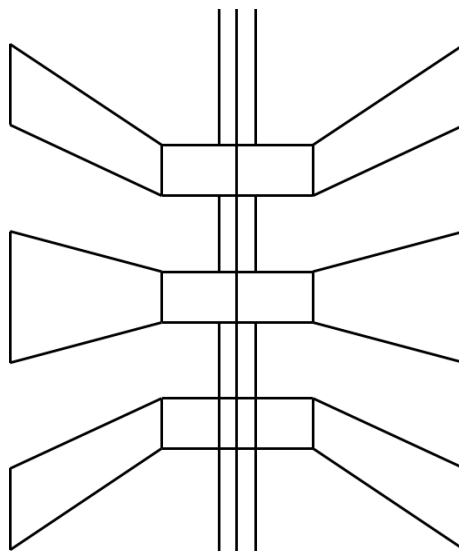


Рисунок 2.10 – Схема розташування мішалок на валу змішувачу

Вал в бак двигуна встановлюється в герметичні підшипникові корпуси 5 та 6, які мають ресурс мінімум 100 тис. км пробігу до заміни (рис. 2.11). Для установки даного змішувача необхідно виконати два отвори – вгорі та внизу бензобаку.

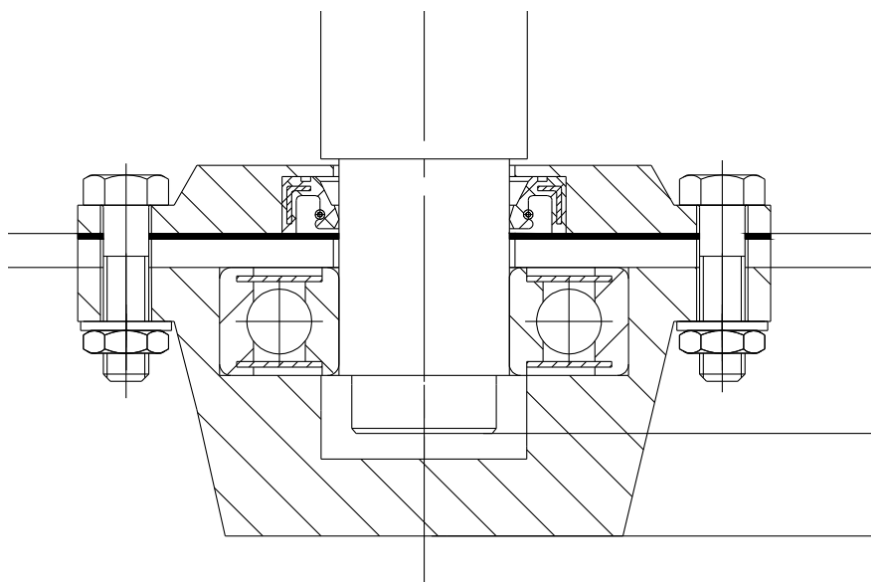


Рисунок 2.11 – Підшипниковий корпус валу запропонованого змішувачу

Привід змішувача виконується від електродвигуна 7 напруга живлення 12 В, який через гумову муфту встановлюється у верхній частині бензобаку.

Живлення електродвигуна виконується від електромережі автомобіля через запобіжник та реле часу, але спрацьовує тільки на початку запуску ДВЗ для перемішування суміші компонентів. Час роботи становить 15...25 секунд (можна регулювати вручну) та залежить від температури навколишнього середовища. Чим вона нижче, тим довше необхідно виконувати процес змішування.

Запропонований змішувач найбільш повно відповідає технологічним вимогам процесу. Це пояснюється тим, що він забезпечує високу інтенсивність перемішування, а отже дає можливість у короткий час одержати однорідну суміш бензину та біоетанолу. Крім того, використання різного

3. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Під час вибору конфігурації та форми лопатей змішувача необхідно враховувати властивості середовища, яке перемішується, його об'єм, висоту шару, потрібну продуктивність, співвідношення компонентів у суміші та необхідний ступінь її однорідності. Якість процесу змішування зазвичай оцінюють за однорідністю готової суміші, а для кількісної характеристики використовують коефіцієнт неоднорідності. Суміш можна вважати практично однорідною тоді, коли вміст окремих компонентів у будь-якій її частині майже не відрізняється від середнього заданого складу всієї суміші.

Лопатеві мішалки належать до тихохідних робочих органів. Здебільшого частота їх обертання знаходиться в межах $30\text{--}90\text{ хв}^{-1}$, а колова швидкість на кінці лопаті не перевищує 3 м/с . До їх основних переваг можна віднести просту конструкцію, відносно невисоку вартість та здатність забезпечувати спокійний характер перемішування. Крім того, вони створюють достатньо добрий рух рідини біля периферії апарата. Разом із тим лопатеві мішалки мають і певні недоліки, зокрема слабкий осьовий потік, через що не завжди вдається досягти рівномірного перемішування по всьому об'єму змішувача. Для покращення цього процесу лопаті часто встановлюють під нахилом, наприклад під кутом близько 20° до осі валу, що дає змогу посилити осьове переміщення рідини.

Технологічні розрахунки змішувача.

Під час технологічного розрахунку змішувача важливу увагу приділяють кутовій швидкості обертання валу, оскільки саме від неї значною мірою залежать ефективність перемішування та витрати енергії. У процесі роботи мішалки в ємності формуються потоки рідини певного напрямку. Якщо частота обертання є невеликою, рідина переважно рухається по колових траєкторіях у горизонтальних площинах, які відповідають руху лопатей. У такому випадку перемішування між сусідніми шарами рідини відбувається слабо. Більш інтенсивне перемішування спостерігається тоді, коли утворюються додаткові потоки та вихрові рухи. Під дією відцентрових сил рідина переміщується від

центральної частини змішувача до його стінок у площині обертання лопатей. Унаслідок цього в центральній зоні виникає знижений тиск і може утворюватися вирва, через яку рідина із верхніх і нижніх шарів втягується до зони роботи мішалки. Саме за рахунок такого перерозподілу потоків і забезпечується інтенсивніше перемішування рідини.

При перемішуванні паливної суміші частота обертання мішалки визначається по формулі:

$$n = \frac{3,02 \cdot \Delta\rho^{0,315} \cdot \sigma^{0,185} \cdot D^{1,3}}{\rho_c^{0,5} \cdot d^{2,17}}, \quad (3.1)$$

де $\Delta\rho$ – різниця густин рідин, що змішуються, кг / м³;

σ – загальний поверхневий натяг суміші, Дж / м²;

D – внутрішній діаметр змішувача, м;

ρ_c – щільність суміші, кг / м³;

d – діаметр лопаті змішувача, м.

При змішуванні бензину та спирту різниця густин становить 40 кг / м³, тому що щільність спирту – 770 кг/м³, а бензину 730 кг/м³. А одержувана при змішуванні по встановленій рецептурі емульсія буде мати щільність 736 кг / м³. Поверхневий бензину становить 0,024 Дж / м².

Виходячи з геометричних розмірів установки, визначимо діаметр лопаті змішувача. Встановлено, що рівномірне змішування рідин можливе при діаметрі лопаті, рівної діаметра установки. Тоді, діаметр лопаті складе 105 мм при діаметрі резервуара 300 мм.

Підставивши дані у формулу, одержимо:

$$n = \frac{3,02 \cdot 40^{0,315} \cdot 0,024^{0,185} \cdot 0,30^{1,3}}{736^{0,5} \cdot 0,105^{2,17}} = \frac{3,02 \cdot 3,19 \cdot 0,50 \cdot 0,21}{27,13 \cdot 0,0075} = 4,97 \text{ с}^{-1}$$

Підбір електродвигуна для приводу змішувачу.

Першочерговий етап вибору двигуна це підбір за частотою обертання. Як установили вище, частота обертання валу мішалки становить 5 с^{-1} . Кращим варіантом у цьому випадку буде установка двигуна склоочисника автомобілів Таврія та ін. Такий двигун має вбудований мотор-редуктор, тому дозволить працювати при повністю заповненому бакові пального.

Конструкція змішувача припускає кріплення електродвигуна на поверхні бака й з'єднується за допомогою муфти.

Також потрібно враховувати, що під час запуску змішувача, навантаження на нього є більшим, ніж у звичайному робочому режимі. Це пов'язано з тим, що в цей момент енергія витрачається не тільки на подолання тертя, а й на те, щоб привести в рух саму мішалку та рідину в ємності. З досвіду роботи таких змішувачів відомо, що в пусковий момент сила дії рідини на лопаті може бути у 1,5–2,5 разів більшою, ніж під час сталої роботи. Саме тому, для приводу змішувачів, зазвичай використовують електродвигуни, які можуть певний час працювати з перевантаженням у межах 150–250 %.

Міцнісні розрахунки змішувача

Проведемо перевірку валу мішалки на міцність. Його конструкція являє собою порожнинний вал. Розрахунки зробимо по найнебезпечнішому перетину, яким є перетин у площині порожнього валу.

Вал випробовує напруження на скручування. Умова міцності круглих валів описується формулою:

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{W_p} \leq [\tau], \quad (3.2)$$

де τ – напруження, що діє на вал при його обертанні, МПа;

$M_{\text{кр}}$ – крутний момент на валу мішалки, Н·м;

W_p – полярний момент опору поперечного перерізу валу, м^3 ;

$[\tau]$ – допустиме напруження при якому забезпечується міцність матеріалу, МПа.

Крутний момент визначається по формулі:

$$M_{\text{кр}} = 9550 \cdot \frac{N}{n}, \quad (3.3)$$

де N – потужність на валу змішувача, кВт;

n – частота обертання валу мішалки, хв^{-1} .

Для визначення потужності на привід мішалки для суміші пального, необхідно спочатку визначити критерій Рейнольдса за виразом:

$$Re = \frac{\rho_c \cdot n \cdot d^2}{\mu}, \quad (3.4)$$

де ρ_c – щільність суміші бензину та етанолу, $\text{кг} / \text{м}^3$;

n – частота обертання змішувачу, с^{-1} ;

d – діаметр робочої лопатки мішалки, м;

μ – в'язкість суміші пального, $\text{Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$. Приймаємо для бензину – $0,0006 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

Після підстановки всіх відомих даних одержимо:

$$Re = \frac{736 \cdot 5 \cdot 0,105^2}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 67620$$

Користуючись графіком залежності між критеріями Ейлера й Рейнольдса, визначимо числове значення критерію Ейлера (рис. 3.1).

Відповідно одержаному значенню критерію Рейнольдса $Re = 67620$ і з урахуванням запропонованого типу мішалки з шістьма лопатями, критерій Ейлера складе $E_u = 1,12$.

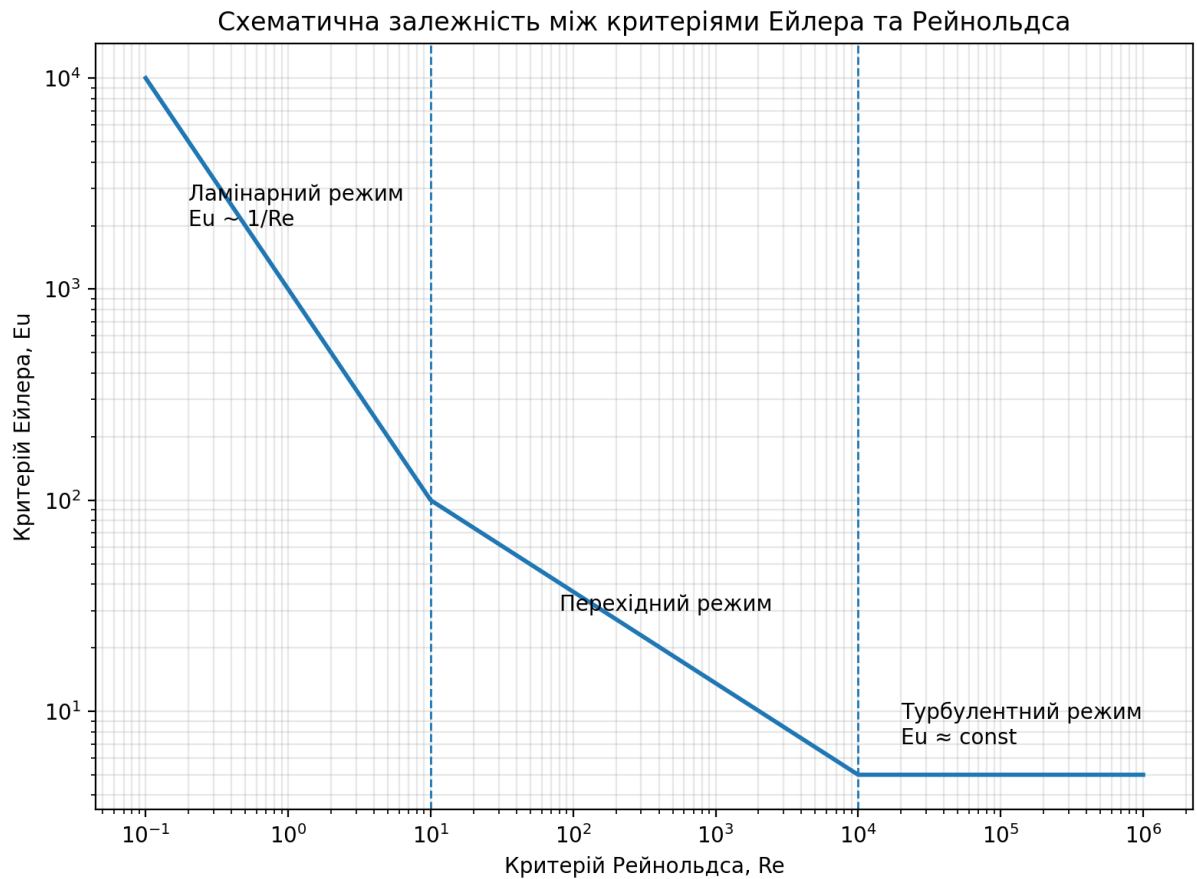


Рисунок 3.1 – Залежність між критеріями Ейлера та Рейнольдса

Затрати потужності на перемішування суміші бензину та етанолу розрахуємо за формулою:

$$N = E_u \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5, \quad (3.5)$$

де E_u – критерій Ейлера;

ρ – густина суміші пального, $\text{кг} / \text{м}^3$;

n – частота обертання валу мішалки, с^{-1} ;

d – діаметр лопатей змішувачу, м.

Підставивши відомі значення, одержимо:

$$N = 1,12 \cdot 736 \cdot 5^3 \cdot 0,30^5 = 100,4 \text{ Вт}$$

Враховуючи відомі значення, визначимо крутний момент на валу мішалки:

$$M_{кр} = 9550 \frac{0,1}{300} = 3,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Полярний момент опору для кільцевого перетину визначається по формулі:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_n^3}{16} \cdot (1 - \alpha^4), \quad (3.4)$$

де d_n – зовнішній діаметр валу змішувачу, м;

α – коефіцієнт, що враховує співвідношення внутрішнього й зовнішнього діаметрів валу змішувача. Так як, вал має суцільну конструкцію то $\alpha = 1$.

Полярний момент опору складе:

$$W_p = \frac{3,14 \cdot 0,0085^3}{16} = 0,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Визначимо допустиму напругу при якій забезпечується міцність даного елемента конструкції. У якості матеріалу для валу використовується нержавіюча сталь 10X14Г14Н4Т, межа міцності якої – 295 МПа.

У розрахунках допустима граничне напруження текучості визначається по формулі:

$$[\tau] = (0,3 \dots 0,35) \cdot \sigma_s \quad (3.5)$$

де σ_s – межа міцності матеріалу, $\sigma_s = 295$ МПа.

Після підстановки одержимо, що допустиме напруження текучості для даної сталі буде 89...103 МПа.

Володіючи всіма необхідними даними для перевірки міцності валу мішалки, визначимо напруження, яке виникає при обертанні валу мішалки:

$$\tau = \frac{3,1}{0,19 \cdot 10^{-6}} = 16,3 \text{ МПа}$$

У результаті розрахунків одержали, що напруження, що виникає у валу становить 16,3 МПа, що є значно менше гранично припустимого 89 МПа і, отже, умови міцності виконуються.

Вибір матеріалу для виготовлення валу змішувача залежить від робочих умов, у яких буде працювати устаткування: температури, корозійної агресивності й інших факторів.

Розроблювальна конструкція змішувача передбачає безпосередній контакт валу мішалки з сумішшю, що складається бензину та етанолу. У зв'язку із цим необхідно застосування корозійно-стійкого матеріалу, у якості якого можна використовувати сталь 10Х14Г14Н4Т за ГОСТ5632 - 72.

Вибір посадок спряжень здійснюється відповідно до рекомендацій літературних джерел. Внутрішню обойму підшипників садять на вал з посадкою k6, а зовнішню – з посадкою H8. Кришку й корпус підшипника в стакан монтують із посадкою h7.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час роботи з бензином і паливними баками потрібно бути дуже обережним, тому що бензин легко займається, швидко випаровується і може утворювати небезпечну суміш парів з повітрям. Через це навіть невелика іскра або відкрите полум'я можуть стати причиною пожежі чи вибуху. Тому перед початком таких робіт працівник повинен пройти інструктаж з охорони праці, знати основні правила пожежної безпеки та розуміти, як діяти у разі розливу палива або загоряння.

Перед роботою потрібно оглянути паливний бак, шланги, крани, пробки та інші з'єднання. Вони мають бути справними, без тріщин, підтікання та пошкоджень. Робоче місце треба підготувати заздалегідь: прибрати зайві предмети, ганчір'я, мастильні матеріали та все, що може легко загорітися. Також важливо, щоб приміщення добре провітрювалося, бо пари бензину шкідливі для людини і можуть накопичуватися в повітрі [19, 20].

Під час роботи з бензином забороняється палити, користуватися відкритим вогнем, виконувати зварювання, паяння або інші роботи, під час яких можуть з'являтися іскри. Бензин не можна переливати біля гарячих частин двигуна, нагрітих поверхонь або несправного електрообладнання. Заправляти чи зливати пальне потрібно акуратно, щоб не допустити його розливання або потрапляння на одяг, руки чи деталі машини.

Працівник повинен користуватися засобами індивідуального захисту. Для цього застосовують спецодяг, рукавиці, а за потреби – захисні окуляри та респіратор. Якщо бензин потрапив на руки, їх потрібно вимити водою з милом. Якщо пальне потрапило на одяг, такий одяг краще одразу замінити, тому що він може легко загорітися і становити небезпеку для працівника [19].

Пальне, що складається з бензину та етанолу, має свої особливості використання, оскільки така суміш відрізняється від звичайного бензину за складом, властивостями та умовами зберігання. Найчастіше використовують суміші типу E5, E10 або E15, де цифра показує приблизний вміст етанолу у

відсотках. Наприклад, E10 містить близько 10 % етанолу і 90 % бензину, а E15 — від 10,5 до 15 % етанолу. Такі суміші застосовують для зменшення витрат на нафтове пальне, підвищення октанового числа та часткового зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище. Етанол у бензині діє як кисневмісна добавка, що сприяє повнішому згорянню паливної суміші в двигуні.

Етанол має меншу теплоту згорання, ніж бензин, тому за однакової кількості палива енергії виділяється трохи менше. Через це, в деяких випадках, може незначно збільшуватися витрата пального, особливо якщо двигун не оптимізований під бензино-етанольну суміш. Також, важливо враховувати сумісність двигуна та паливної системи з таким паливом. Наприклад, E15 у США дозволений для легкових автомобілів 2001 модельного року і новіших, але не для всіх старіших транспортних засобів.

Ще однією важливою особливістю є те, що етанол добре поглинає вологу з повітря. Якщо у паливо потрапляє надмірна кількість води, може відбутися розшарування суміші. У такому випадку бензин залишається у верхньому шарі, а суміш етанолу з водою опускається на дно бака. Це небезпечно для роботи двигуна, тому що в паливну систему може потрапити водно-спиртова фаза, яка погіршує згорання, спричиняє перебої в роботі двигуна або навіть його зупинку. Крім того, після розшарування верхній бензиновий шар втрачає частину октанового числа, що також негативно впливає на роботу двигуна.

Через здатність етанолу поглинати воду до зберігання такого пального висуваються підвищені вимоги. Паливні баки, канистри та резервуари мають бути чистими, сухими й герметично закритими. Не бажано довго зберігати бензино-етанольну суміш у напівпорожньому баку, тому що вільний простір над паливом сприяє накопиченню вологи. Особливо це важливо для техніки, яка використовується сезонно або має тривалі перерви в роботі.

Також потрібно враховувати, що етанол може впливати на деякі матеріали паливної системи. У старій техніці окремі гумові ущільнення, шланги, прокладки або металеві елементи можуть бути менш стійкими до дії спиртовмісного пального. Через це можливе розбухання гумових деталей, поява підтікань або

корозія окремих елементів. У сучасних транспортних засобах і машинах такі проблеми трапляються рідше, оскільки паливні системи зазвичай розраховані на роботу з бензином, який містить певну частку етанолу.

Особливо уважно потрібно працювати з паливними баками під час їх ремонту. Не можна виконувати зварювання або паяння бака, якщо в ньому залишилося пальне або його пари. Перед ремонтом бак потрібно повністю спорожнити, промити, очистити й добре провітрити. Це необхідно тому, що навіть невелика кількість парів бензину всередині бака може спричинити вибух під час нагрівання або появи іскри [20].

Якщо бензин розлився, роботу потрібно одразу зупинити. У першу чергу треба прибрати всі можливі джерела вогню або іскор, провітрити приміщення і засипати розлив піском чи іншим негорючим матеріалом. Після цього забруднений матеріал потрібно зібрати у спеціальну тару. Не можна залишати бензин випаровуватися або змивати його водою в каналізацію.

У разі загоряння бензину не слід гасити його звичайним струменем води, бо пальне може розтікатися і вогонь пошириться ще більше. Для гасіння краще використовувати вогнегасник, пісок або протипожежне покривало [21]. При серйозній пожежі потрібно негайно повідомити відповідальні служби та залишити небезпечну зону.

Отже, під час роботи з бензином та паливними баками головне — не поспішати, працювати акуратно і не порушувати правила безпеки. Потрібно стежити, щоб не було відкритого вогню, іскор, розливів пального та накопичення його парів. Дотримання цих простих правил допомагає уникнути пожежі, вибуху, отруєння парами бензину та травмування працівників.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У сучасних умовах витрати на пальне займають значну частину загальних витрат під час експлуатації автомобільної техніки. Особливо це стосується вантажних автомобілів, які споживають багато пального і часто працюють на великих пробігах. Тому, навіть невелике зменшення вартості одного літра палива може дати помітну економію. Саме через це використання бензину з додаванням етилового спирту є досить актуальним питанням, оскільки така суміш може зменшити витрати на експлуатацію автомобіля.

Додавання етилового спирту до бензину дає можливість частково замінити нафтову складову пального іншим компонентом, який можна отримувати з рослинної сировини. Це робить таке паливо більш цікавим не лише з економічної, а й з екологічної точки зору. Крім того, етанол має високе октанове число, тому його наявність у складі пального може покращувати антидетонаційні властивості суміші. Іншими словами, паливо стає більш стійким до неправильного згоряння в двигуні, що позитивно впливає на його роботу за умови, що паливна система підходить для використання такої суміші.

Економічне обґрунтування потрібне для того, щоб визначити, чи буде перехід на бензино-етанольне паливо справді вигідним у реальних умовах. Адже нижча ціна пального ще не завжди означає, що його використання автоматично буде економічно доцільним. Потрібно враховувати не тільки вартість одного літра палива, але й його фактичну витрату, можливі витрати на модернізацію системи живлення, строк окупності цих витрат та економію, яку можна отримати за певний пробіг автомобіля.

Особливо важливо проводити такі розрахунки для вантажних автомобілів, оскільки вони працюють з більшим навантаженням і споживають більше пального, ніж легкові автомобілі. У такому випадку різниця в ціні між звичайним бензином і сумішшю з етанолом може швидше покрити витрати на переобладнання або налаштування паливної системи. Чим більше автомобіль

проходить кілометрів, тим відчутнішою стає економія від використання дешевшого виду пального.

Водночас під час оцінювання ефективності потрібно враховувати і певні недоліки такого палива. Етиловий спирт має меншу теплоту згоряння порівняно з бензином, тому в окремих випадках витрата пального може трохи збільшуватися. Також етанол добре поглинає вологу з повітря, через що при неправильному зберіганні паливо може розшаровуватися. Тому результат від використання бензино-етанольної суміші залежить не лише від її ціни, а й від якості пального, умов його зберігання, технічного стану автомобіля та правильності експлуатації.

Отже, економічне обґрунтування використання палива з додаванням етилового спирту дає змогу реально оцінити, наскільки вигідним є такий варіант для конкретного автомобіля. Для цього порівнюють витрати на чистий бензин і бензино-етанольну суміш, визначають економію на 100 км пробігу, розраховують строк окупності модернізації та загальний економічний ефект. Такий підхід дозволяє не просто зробити висновок, що паливо з етанолом дешевше, а показати, чи справді його використання є доцільним у практичних умовах експлуатації.

Оцінювати доцільність удосконалення технологічного процесу або конструкції обладнання найкраще через порівняння основних техніко-економічних показників базового та модернізованого варіантів. Якщо розглядається вантажний автомобіль ГАЗ-3307, то під час аналізу бажано враховувати не тільки його техніко-експлуатаційні характеристики, а й загальний економічний результат від упровадження таких змін. Проте, розглядаючи особливості змін при встановленні мішалки в бензобак для ефективного використання суміші бензину та етанолу, стає очевидним, що суттєві зміни будуть присутні тільки у затратах на пальне та незначні у відрахуваннях на амортизацію ремонт та реновацію. Визначимо самі ці показники та порівняємо їх для базового варіанту та модернізованого.

Початкові дані для виконання розрахунків: вартість автомобіля без вдосконалення – 250000 грн, вартість встановлення мішалки в бензобак – 5000 грн, вартість бензину – 70 грн/л, бензину Е10 – 58 грн/л. Нормативні показники щодо відрахувань на амортизацію приймаємо відповідно до нормативів – 10 %.

Так як зміни продуктивності вантажного автомобіля не передбачається, то експлуатаційні витрати на заробітну плату розглядати не будемо.

Виконаємо визначення експлуатаційних витрат при використанні вантажного автомобіля базового варіанту та проектного.

Розрахунки для визначення затрат проводимо на основі відомої методики [22]:

$$C_{\text{ит}} = C_{\text{нмм}} + C_{\text{то+ам}} \quad (5.1)$$

де, $C_{\text{нмм}}$, $C_{\text{то+ам}}$ – витрати на бензин та проведення ТО, відрахування та амортизацію та ремонт, грн./га;

Затрати на пальне визначаємо за формулою [22]:

$$C_{\text{нмм}} = \Pi_{\kappa} \cdot g_{\text{за}} \cdot 0,83 \quad (5.2)$$

де Π_{κ} , $g_{\text{за}}$ – ціна одного літра пального та норма витрати палива на 100 км пробігу л / 100 км. Приймаємо норму витрати пального відповідно до технічної характеристики – 24,5 л / 100 км для чистого бензину та 25,7 л/100 для бензину Е10.

Враховуючи вище наведені початкові дані та норму витрат палива, отримаємо:

$$C_{\text{нмм}}^{\text{б}} = 70 \cdot 24,5 = 1715 \text{ грн. / 100 км} = 17,15 \text{ грн. / км}$$

$$C_{\text{нмм}}^{\text{н}} = 58 \cdot 24,5 = 1490,6 \text{ грн./100 км} = 14,91 \text{ грн. / км}$$

Затрати на проведення ТО, ремонту та відрахування на амортизацію визначаємо за формулою:

$$C_M = \left[\frac{B_m \cdot a_{pm}}{100 \cdot G_n^{pik} \cdot W} + \frac{(C_{prm} + C_{tom} + C_{zm})}{G_n^{pik}} \right] \cdot K_i \quad (5.3)$$

де $B_m \cdot a_{pm}$ – вартість вантажного автомобіля (грн) та нормативний показник відрахувань (%). Приймаємо – 10 %.

C_{prm}, C_{tom}, C_{zm} – затрати на виконання ремонту, ТО та ін. приймаємо нормативне значення – 7 %.

G_n^{pik} – орієнтовні норми наробітку для вантажного автомобіля, приймаємо 20000 км.

Враховуючи це, маємо:

$$C_{то+ам}^б = \left[\frac{250000 \cdot 10}{100 \cdot 20000} + \frac{17500}{20000} \right] = 2,126 \text{ грн / км}$$

$$C_{то+ам}^п = \left[\frac{255000 \cdot 10}{100 \cdot 20000} + \frac{17850}{20000} \right] = 2,168 \text{ грн / км}$$

Таким чином питомі затрати (без врахування заробітної плати) при використанні двох варіантів автомобілів будуть становити:

$$C_{nut}^б = 17,15 + 2,13 = 19,28 \text{ грн / км}$$

$$C_{nut}^н = 14,91 + 2,17 = 17,08 \text{ грн/га}$$

Отже маємо економічний ефект:

$$E_{ef}^{га} = C_{nut}^б - C_{nut}^н = 19,28 - 17,08 = 2,2 \text{ грн / км}$$

Враховуючи плановий річний пробіг 20000 км, маємо:

$$E_{ef}^{pik} = Q \cdot (C_{nut}^б - C_{nut}^н) = 20000 \cdot (19,28 - 17,08) = 44000 \text{ грн}$$

Таким чином термін окупності складе:

$$T_o = \frac{5000}{44000} = 0,12 \text{ року}$$

Результати проведених розрахунків формуємо у вигляді табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники

Показник	Одиниці вимірюва ння	Варіант	
		Базовий	Запропонований
Експлуатаційні затрати, в тому числі: - пальне - амортизація, ТО, ПР	грн / км	19,28 17,15 2,13	17,08 14,91 2,17
Економічний ефект (питомий)	грн / км	-	2,2
Загальний річний економічний ефект, при пробігу 20 тис. км	грн	-	44000
Термін окупності капітальних вкладень	років	-	0,12

Висновки до розділу.

Виконані розрахунки щодо економічної ефективності використання бензину Е10, що містить 10 % етанолу для роботи вантажного автомобіля. Загальні витрати на пальне та витрати на ТО, ремонт та амортизацію знижуються з 19,28 грн / км до 17,08 грн / км, таким чином питомий економічний ефект становить – 2,2 грн / км пробігу. З врахуванням середньорічного пробігу вантажного автомобіля 20 тис. км, маємо річний ефект 44000 грн. При цьому, термін окупності капітальних вкладень становитиме 0,12 років.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що біоетанол в світі активно використовують як добавку до бензину, найчастіше у вигляді сумішей E5, E10, E15, а в окремих країнах – і з вищим вмістом етанолу. Найбільше його застосовують у країнах, де розвинене виробництво біопалива з рослинної сировини, зокрема у США (52%), Бразилії (27%) та країнах ЄС. Використання біоетанолу дає змогу частково зменшити залежність від нафтового пального, підвищити октанове число бензину та скоротити окремі шкідливі викиди. Виконаний аналіз дозволив встановити, що введення етанолу до бензину, дозволяє знизити детонацію, а також сприяє більш повному згорянню паливної суміші та зменшенню окремих шкідливих викидів, зокрема CO і HC. Серед недоліків етанолу є його здатність вбирати вологу з повітря, що може створювати проблеми під час холодного запуску двигуна, сприяти корозії та вимагати більш стійких матеріалів у паливній системі. Крім того, за низьких температур відбувається розшарування суміші бензину та етанолу.

Встановлено, що одним із ефективним рішенням щодо забезпечення фазової стабільності етанолвмісних бензинів є встановлення в бензобак спеціальних змішувачів. Виконаний патентний огляд показав, що сучасний розвиток механічних змішувачів для рідин відбувається у напрямі поєднання традиційних конструктивних рішень із новими способами організації руху рідини в апаратів. Це дозволяє підвищити ефективність перемішування, знизити енерговитрати та розширити сферу використання змішувального обладнання в різних галузях промисловості. Запропонована комбінація декількох різних форм лопатей та їх розташування дозволяє підвищити циркуляцію суміші не тільки в горизонтальному, а й інтенсивне перемішування шарів, що розташовані у вертикальній площині.

Виконані інженерно-технічні розрахунки запропонованої конструкції змішувачу. Встановлено, що напруження, що виникає у валу становить 16,3 МПа, що є значно менше гранично припустимого 89 МПа і, отже, умови

міцності виконуються. Внутрішню обойму підшипників необхідно встановити на вал з посадкою k6, а зовнішню – з посадкою H8. Кришку й корпус підшипника в стакан монтують із посадкою h7.

Розглянуто вимоги безпеки при роботі з пально-мастильними матеріалами та спеціальними рідинами. Наведено вимоги при виконанні робіт з паливними баками та дії у разі виникнення загорання пального.

Виконані розрахунки щодо економічної ефективності використання бензину E10, що містить 10 % етанолу для роботи вантажного автомобіля. Загальні витрати на пальне та витрати на ТО, ремонт та амортизацію знижуються з 19,28 грн / км до 17,08 грн / км, таким чином питомий економічний ефект становить – 2,2 грн / км пробігу. З врахуванням середньорічного пробігу вантажного автомобіля 20 тис. км, маємо річний ефект 44000 грн. При цьому, термін окупності капітальних вкладень становитиме 0,12 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sustainable liquid and gaseous fuels offer multiple benefits. <https://www.iea.org/reports/delivering-sustainable-fuels/executive-summary>.
2. Annual Ethanol Production. <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>.
3. EPA Fortifies Domestic Fuel Supply, Provides Americans with Relief at the Pump by Approving Nationwide E15 and Removing Boutique Fuel Markets for E10. <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-fortifies-domestic-fuel-supply-provides-americans-relief-pump-approving-nationwide>.
4. FUEL OF THE FUTURE. <https://www.gov.br/mme/pt-br/brazil-world-leader-in-energy-transition/energy-transition/fuel-of-the-future>.
5. Biofuels Annual. European Union. <https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels+Annual+The+Hague+European+Union+E42025-0004.pdf>.
6. What are the Clean Fuel Regulations? <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/managing-pollution/energy-production/fuel-regulations/clean-fuel-regulations/about.html>.
7. Thangavelu, S. K., Ahmed, A. S., & Ani, F. N. (2016). Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 56. 2016. P. 820-835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.089>.
8. D.Y. Dhande, Nazaruddin Sinaga, Kiran B. Dahe, Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine, *Heliyon*, V. 7, Issue 3, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06380>.
9. Rimkus, A., et al. (2024). Impact of Bioethanol Concentration in Gasoline on SI Engine Performance and Emissions. *Sustainability*, 16(6), 2397.
10. Tornatore C., Marchitto L., Costagliola M.A., Valentino G. *Experimental Comparative Study on Performance and Emissions of E85 Adopting Different Injection Approaches in a Turbocharged PFI SI Engine*. *Energies*. 2019. 12(8), 1555. DOI: 10.3390/en12081555.

11. Кравченко С. С., Прохоренко А. О., Кузьменко А. П. Адаптація автомобільного бензинового двигуна для роботи на сумішевому паливі з біоетанолом // Двигуни внутрішнього згорання. 2025. № 1. С. 22–28. DOI: 10.20998/0419-8719.2025.1.03.

12. Гомонай В. І., Богоста А. С., Лобко В. Ю., Тацькар А. Р. Етиловий спирт як екологічне паливо для двигунів внутрішнього згорання // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Хімія. 2011. № 1(25). С. 82–87.

13. Будько М., Степанов Д., Василькевич О. Розробка та дослідження методу підвищення фазової стабільності сумішевих моторних палив для покращення їх екологічних та експлуатаційних характеристик // Відновлювана енергетика. 2018. № 3.

14. Кизюн Г. О., Міщенко О. С., Толстопятов О. М. Особливості застосування біоетанолу в Україні // Каталіз та нафтохімія / або профільне фахове видання НАН України, 2012.

15. Етанол у паливі: переваги, недоліки та ефективні засоби захисту. https://www.avtoradosti.com.ua/ua/news/05_2025/1288.html?srsltid=AfmBOop6n41XJjqHefCe2GQ0WOHL7zxGVnVLf09lTUGpirFxB1qBaNo8.

16. Змішувач для рідин : пат. 68866 U Україна. № u201111005 ; заявл. 19.09.2011 ; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7.

17. Турбінна мішалка : пат. 142177 U Україна. № u201911746 ; заявл. 25.11.2019 ; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 11.

18. Apparatus for stabilizing a mixer which circulates liquid : patent US 6089748A, US. № 09/251,329 ; заявл. 17.02.1999 ; опубл. 18.07.2000.

19. НПАОП 63.23-1.03-08 Правила безпеки праці під час роботи з пально-мастильними матеріалами та спецрідинами. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Наказ від 19.09.2008 № 205.

20. НПАОП 60.2-1.28-97. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. МНС України; Наказ від 09.07.2012 № 964.

21. Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників: наказ Міністерства внутрішніх справ України від 15.01.2018 № 25.

22. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П., Карасьов П.І., Кухаренко П.М., Ільченко А.В. Практикум з використання машин у рослинництві. Дніпропетр. держ. агр. ун.-т. Дніпропетровськ. 2002. 212 с.

ДОДАТКИ

Додаток А – Графічна частина дипломного проєкту

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

**Ефективність використання вантажного автомобіля при
роботі на суміші біоетанолу та бензину**

Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи AI-1-22

Матвеев Іван Володимирович

Керівник: к.т.н., доцент

Макаренко Дмитро Олександрович

ДНІПРО 2026

Продовження додатку А

Метою дипломного проєкту є обґрунтування конструкції змішувача для паливного баку вантажного автомобіля, який працює на суміші бензину та біоетанолу

Для досягнення мети виконано такі завдання:

1. Проаналізувати використання етанолу в якості пального в світі, переваги та недоліки застосування.
2. Розглянути конструктивні особливості змішувачів, розробити оптимальну конструкцію для застосування в паливному бакові.
3. Виконати інженерно-технічні розрахунки запропонованої конструкції змішувача.
4. Навести вимоги охорони праці при роботі з бензином та етанолом.
5. Виконати техніко-економічні розрахунки розробленого удосконалення

Продовження додатку А

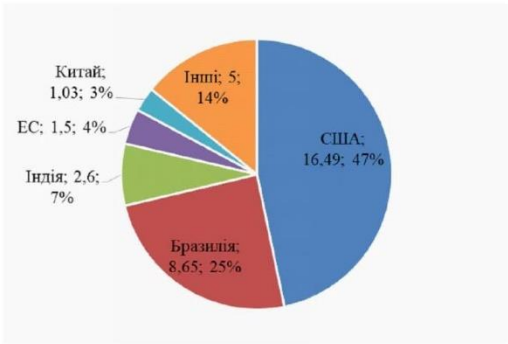


Рис. 1 - Обсяги (млрд. галонів) та структура виробництва біоетанолу

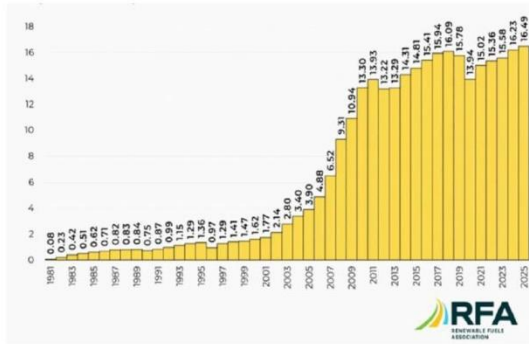


Рис. 2 - Динаміка виробництва (млрд. галонів) біоетанолу в США

Таблиця 1 - Основні ринки етанолу, як палива та добавки до палива

Країна / perion	Типова суміш / мандат	Роль етанолу	Поточний стан і тренд
США	Перемішує E10, розширюється E15, є E85 для flex-fuel	Головною добавкою до бензину; також великий експортний товар	Найбільший виробник у світі. E10 – стандарт, E15 поступово розширюється, експорт у 2025 році буде рекордним.
Бразилія	E30 у Бенгії з серія 2025 року; також високої суміші E1 гідратний етанол	Не лише добавка, а й повноцінні транспортні паливо	Один із найрозвиненіших етанольних ринків світу, дуже глибока інтеграція в транспортний сектор.
Індія	Досліджує E20 у 2025 році	Інструмент імпортозаміщення в декарбонізації	Найшвидше зростаючий великий ринок; різке збільшення частки етанолу за останні десятиліття.
СС	Поприростість E10	Перемішує добавку до бензину в межах кліматичної політики	Споживання зростає, але ринок менш «етанолоцентричний», ніж у США чи Бразилії.
Канада	Підвищення вимоги до надновкової вмісту; в окремих провінціях понад 10%	Добавка до бензину для зниження вуглецевої інтенсивності	Ринок зростає завдяки федеральним і провінціальним нормам.
Велика Британія	E10	Стандартизація бензинової добавка	Після переходу на E10 споживання етанолу стало стабільним винятком.
Аргентина	Близько E12	Добавка до бензину	Стабільний мандат, етанол використовується як частина біо паливної політики.
Китай	Локальне та обмежене використання, не став повсюдним стандартом	Додаткова опція, а не домінуюча модель	Частка в світовому виробництві є, але внутрішні масові виробництва стабілі, ніж очікувати ринище.
Україна	Найпоширеніший формат – E10	Добавка до бензину	З 1 травня 2025 року обов'язковий мінімальний вміст етанолу в бенгії – 5%.
Світ загальною	Найпоширеніший формат – E10	Насамперед добавка до бензину, рідше – окреме паливо	Ринок зростає; основні центри – США, Бразилія, Індія. Глобально етанол уже став стандартним компонентом моторного палива.

[illegible]

Продовження додатку А

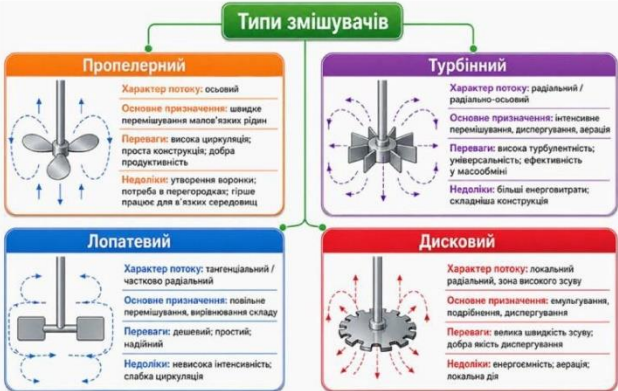


Рис. 3 - Типи механічних змішувачів

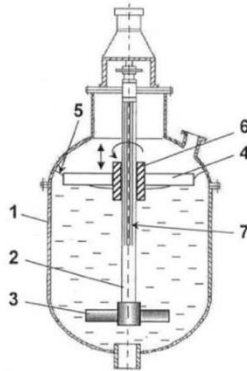


Рис. 4 - Змішувач відповідно до патенту UA 68866 C: 1 - корпус змішувача; 2 - вал; 3 - нижня мішалка; 4 - мішалка, з можливістю переміщення у вертикальну площину; 5 - покривні різьби; 6 - шпатель

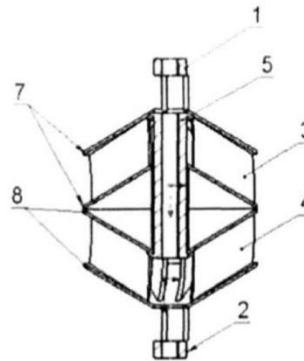


Рис. 5 - Турбінна мішалка (UA 62177 U): 1 - корпус змішувача; 2 - вал; 3 - нижня мішалка; 4 - мішалка, з можливістю переміщення у вертикальну площину; 5 - покривні різьби; 6 - шпатель

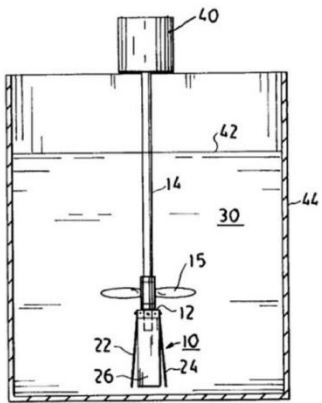


Рис. 6 - Змішувач за патентом US689748A

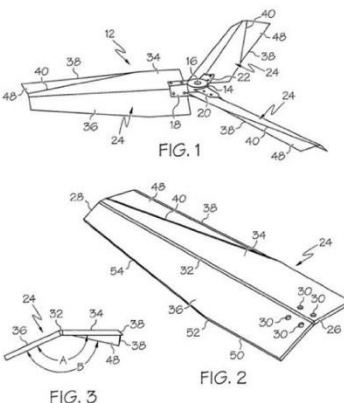


Рис. 7 - Конструкція робочого органу змішувача за патентом US8220986B2

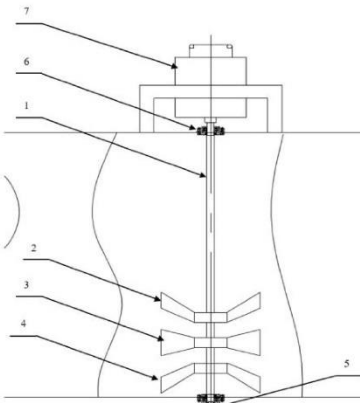
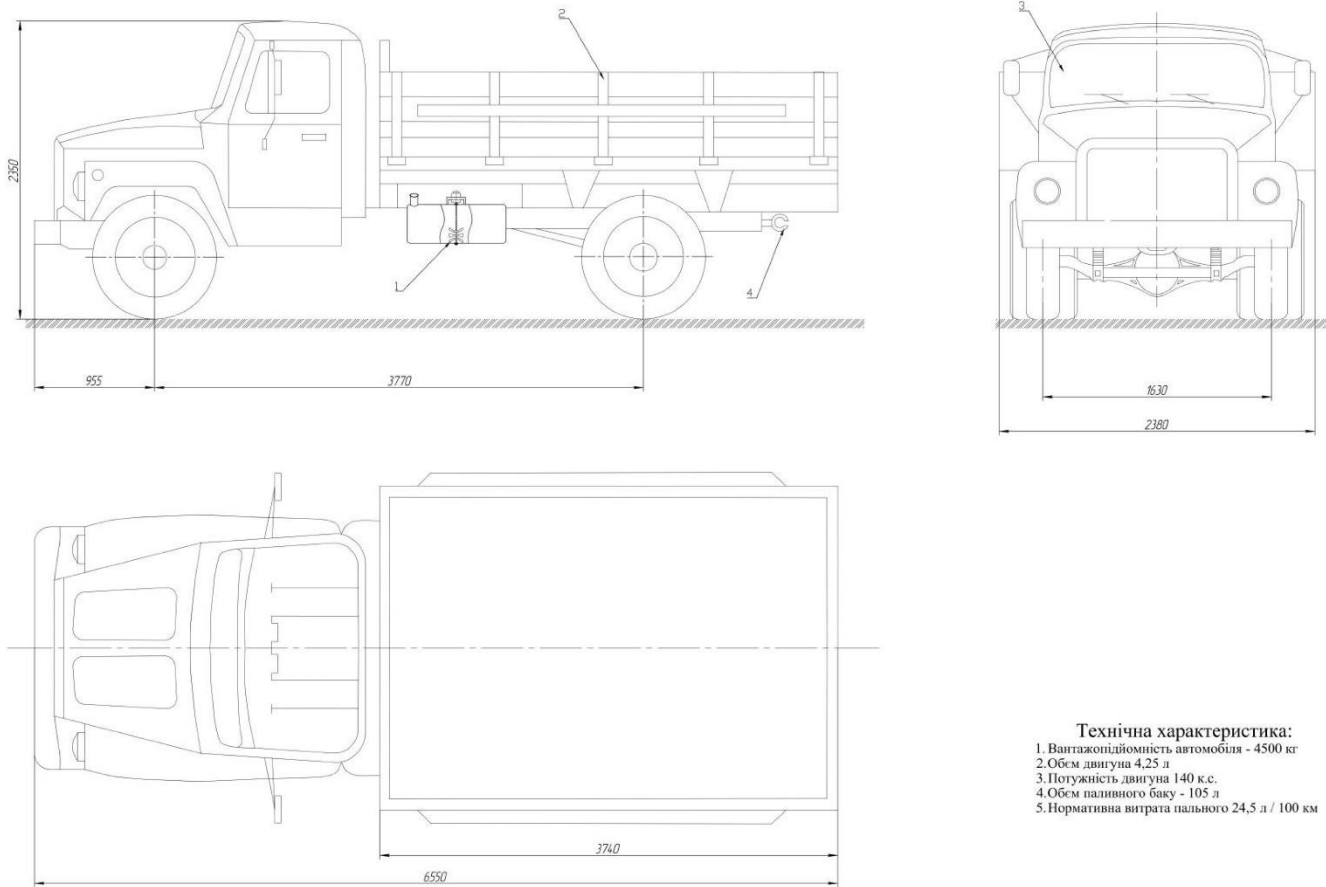


Рис. 8 - Запропонована конструкція змішувачу

48 ДП.034.000.000 АК				Патентний огляд		Лист 14	Лист 15
Патентний огляд				конструкцій змішувачів		Лист 14	Лист 15
ДДАУ							

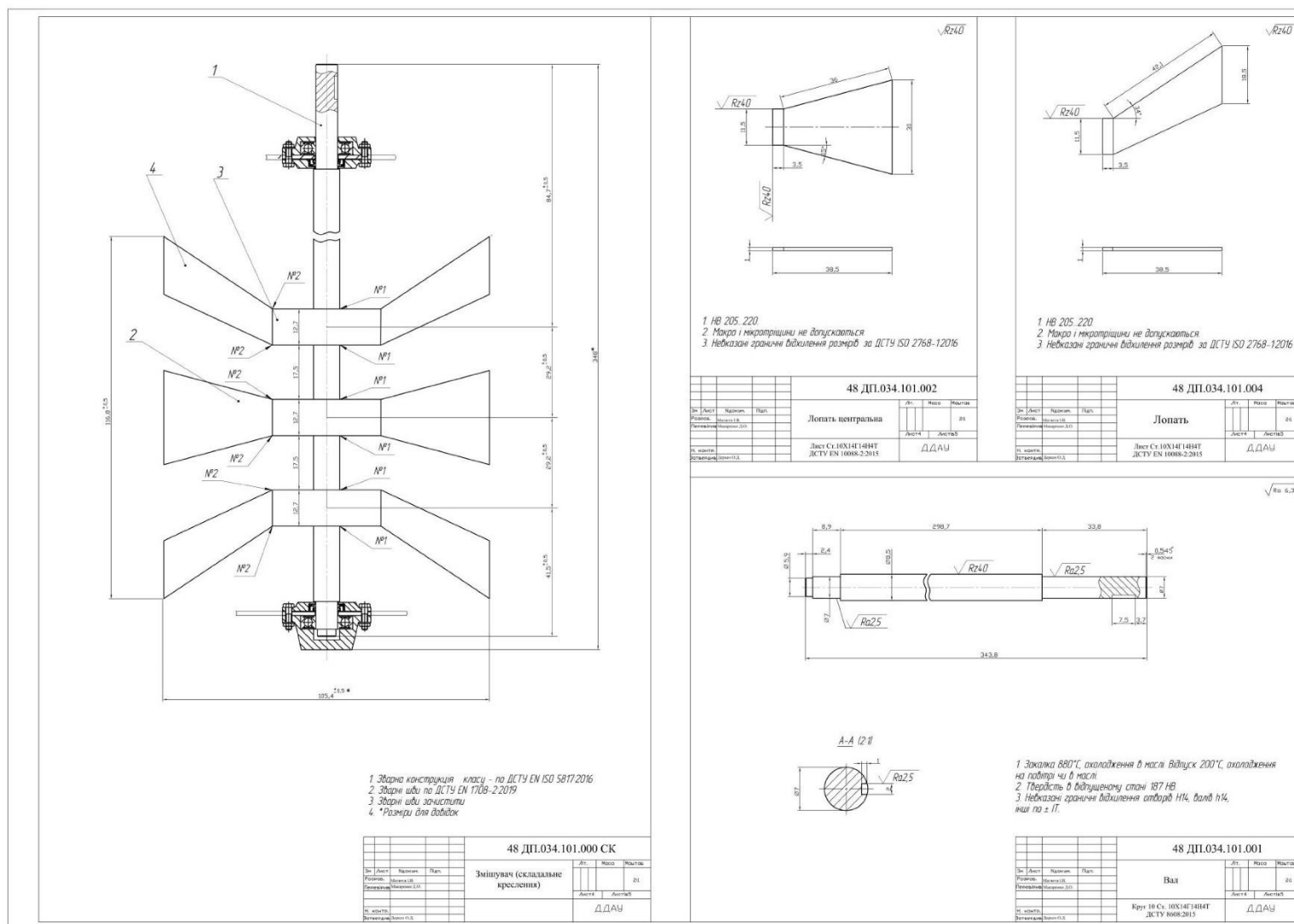
Продовження додатку А



Технічна характеристика:
1. Вантажопідйомність автомобіля - 4500 кг
2.Обєм двигуна 4,25 л
3. Потужність двигуна 140 к.с.
4.Обєм паливного баку - 105 л
5. Нормативна витрата пального 24,5 л / 100 км

				48 ДП.034.100.000 ВЗ			
Зв.	Автом.	Назва	Модель	Дп.	Маса	Місця	
Розробник		Модель 1.0				515	
Получатель	Модель 2.0						
				Лист 3	Листа 5		
Дп.	Автом.	Модель 3.0		ДДАУ			

Продовження додатку А



Продовження додатку А

Таблиця 2 - Економічна ефективність проекту

Показник	Одиниці вимірювання	Варіант	
		Базовий	Запропонований
Експлуатаційні затрати, в тому числі: - пальне - амортизація, ТО, ПР	грн / км	19,28 17,15 2,13	17,08 14,91 2,17
Економічний ефект (питомий)	грн / км	-	2,2
Загальний річний економічний ефект, при пробігу 20 тис. км	грн	-	44000
Термін окупності капітальних вкладень	років	-	0,12

				48 ДП.034.000.000 ПЕ			
№	Лист	Варіант	Пит.	Лист	Місяц	Результат	
Розроб.	Виконав.	Перевір.	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Виконав.	Виконав.	Виконав.	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Н. ч. проекту	Виконав.	Виконав.	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист
Виконав.	Виконав.	Виконав.	Лист	Лист	Лист	Лист	Лист

Продовження додатку А

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що біоетанол в світі активно використовують як добавку до бензину, найчастіше у вигляді сумішей E5, E10, E15, а в окремих країнах – і з вищим вмістом етанолу. Найбільше його застосовують у країнах, де розвинене виробництво біопалива з рослинної сировини, зокрема у США (52%), Бразилії (27%) та країнах ЄС. Використання біоетанолу дає змогу частково зменшити залежність від нафтового пального, підвищити октанове число бензину та скоротити окремі шкідливі викиди. Виконаний аналіз дозволив встановити, що введення етанолу до бензину, дозволяє знизити детонацію, а також сприяє більш повному згорянню паливної суміші та зменшенню окремих шкідливих викидів, зокрема CO і HC. Серед недоліків етанолу є його здатність вбирати вологу з повітря, що може створювати проблеми під час холодного запуску двигуна, сприяти корозії та вимагати більш стійких матеріалів у паливній системі. Крім того, за низьких температур відбувається розшарування суміші бензину та етанолу.
2. Встановлено, що одним із ефективним рішенням щодо забезпечення фазової стабільності етанолвмісних бензинів є встановлення в бензобак спеціальних змішувачів. Виконаний патентний огляд показав, що сучасний розвиток механічних змішувачів для рідин відбувається у напрямі поєднання традиційних конструктивних рішень із новими способами організації руху рідини в апаратів. Це дозволяє підвищити ефективність перемішування, знизити енерговитрати та розширити сферу використання змішувального обладнання в різних галузях промисловості. Запропонована комбінація декількох різних форм лопатей та їх розташування дозволяє підвищити циркуляцію суміші не тільки в горизонтальному, а й інтенсивне перемішування шарів, що розташовані у вертикальній площині.
3. Виконані інженерно-технічні розрахунки запропонованої конструкції змішувачу. Встановлено, що напруження, що виникає у валу становить 16,3 МПа, що є значно менше гранично припустимого 89 МПа і, отже, умови міцності виконуються. Внутрішню обойму підшипників необхідно встановити на вал з посадкою k6, а зовнішню – з посадкою H8. Кришку й корпус підшипника в стакан монтують із посадкою h7.
4. Розглянуто вимоги безпеки при роботі з пально-мастильними матеріалами та спеціальними рідинами. Наведено вимоги при виконанні робіт з паливними баками та дії у разі виникнення загорання пального.
5. Виконані розрахунки щодо економічної ефективності використання бензину E10, що містить 10 % етанолу для роботи вантажного автомобіля. Загальні витрати на пальне та витрати на ТО, ремонт та амортизацію знижуються з 19,28 грн / км до 17,08 грн / км, таким чином питомий економічний ефект становить – 2,2 грн / км пробігу. З врахуванням середньорічного пробігу вантажного автомобіля 20 тис. км, маємо річний ефект 44000 грн. При цьому, термін окупності капітальних вкладень становитиме 0,12 років.