

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
ІНСТИТУТ ТРАНСПОРТУ ТА ЛОГІСТИКИ  
КАФЕДРА ЗАЛІЗНИЧНОГО, АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТА  
ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

напряму підготовки 274 Автомобільний транспорт

спеціальності 8.07010601 Автомобілі та автомобільне господарство

на тему: «Дослідження процесів конверсії метанолу при використанні його в якості палива для автомобілів»

Виконала: студент групи АТ-16зм  
Денисова Н.О.

.....  
(підпис)

Керівник: доц. Полупан Є.В.

.....  
(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Горбунов М.І.

.....  
(підпис)

Рецензент:

.....  
(підпис)

## Зміст

Вступ.....	4
1 Аналіз конструкцій гібридних легкових автомобілів із ДВЗ .....	11
1.1 Типові схеми гібридних автомобілів .....	11
1.2 Аналіз конструкцій коліс гібридних автомобілів .....	13
1.3 Загальні тенденції розвитку автомобільних ДВЗ .....	18
1.4 Автомобільні ДВЗ із запаленням від іскри .....	19
1.5 Автомобільні дизелі .....	21
1.6 ДВЗ на природному газі .....	24
1.7 ДВЗ на спиртах .....	27
1.8 ДВЗ на водні .....	30
1.9 Інші види альтернативних палив .....	32
1.10 Висновки до розділу 1 .....	35
2 Дослідження процесів конверсії метанолу при використанні його в якості палива на гібридних автомобільних енергетичних установках .....	37
2.1 Метанол як основний замітник рідких нафтових палив для двигунів гібридних автомобілів.....	37
2.2 Дослідження процесів конверсії метанолу.....	39
2.3 Розробка систем ТХРТ .....	42
2.4 Дослідження роботи двигунів із системами ТХРТ .....	47
2.5 Ефективні й токсичні показники ДВЗ при роботі на продуктах конверсії .....	48
2.6 Аналіз теплових схем установок конверсії метанолу .....	50
2.7 Висновок до розділу 2 .....	63

3	Математична модель розрахунків необхідної продуктивності реактора при роботі двигуна по їздовому циклу .....	65
3.1	Опис математичної моделі .....	65
3.2	Результати розрахунків математичної моделі на прикладі автомобіля ЗАЗ-1102.....	68
3.3	Розрахунки реактора .....	70
4	Експериментальне дослідження .....	72
4.1	Експериментальний моторний стенд і контрольно-вимірювальне встаткування .....	72
4.1.1	Опис гальмової установки .....	72
4.1.2	Опис двигуна .....	73
4.1.3	Опис комплексу КВП .....	75
4.1.4	Система індукування тиску в порожнині циліндра двигуна .....	76
4.2	Розробка методики проведення розрахункових досліджень за узгодженням параметрів роботи двигуна й реактора.....	77
4.3	Розробка схеми стендової системи конверсії метанолу і її елементів .....	79
5.	Охорона праці. Дослідження шкідливих та небезпечних чинників при експлуатації автомобіля.....	81
	Висновки .....	87
	Література .....	89

## ВСТУП

У зв'язку з постійним збільшенням чисельності автомобільного транспорту і його вантажообігу він залишається основним споживачем палив нафтового походження ресурси яких обмежені. Крім того, різко погіршилася екологічна обстановка у великих містах і індустріальних центрах.

В енергетичних програмах різних країн на тривалу перспективу передбачаються заходи щодо економії паливно-енергетичних ресурсів, заміщенню нафтових палив природним газом і іншими альтернативними паливами не нафтового походження, по розширенню використання вторинних і нетрадиційних джерел енергії, розвивається виробництво гібридних автомобілів і електрокарів.

Причиною початку виробництва легкових гібридів був ринковий попит на подібні автомобілі, викликаний високими цінами на нафту й постійним підвищенням вимог до екологічності автомобілів.

Гібридний автомобіль - автомобіль, що використовує для привода ведучих коліс більш одного джерела енергії. Сучасні автовиробники часто прибігають до спільного використання двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна, що дозволяє уникнути роботи ДВЗ у режимі малих навантажень, а також реалізовувати рекуперацію кінетичної енергії, підвищуючи паливну ефективність силової установки.

Удосконалювання технологій і податкові пільги виробникам гібридів робить ці автомобілі в деяких випадках навіть дешевше звичайних. У деяких країнах власники гібридів звільняються від сплати дорожнього податку й не платять за муніципальні паркування.

У кожного типу двигуна є свої переваги й недоліки. Гібридний же автомобіль є компромісним рішенням, тому що поєднує в собі універсальність ДВЗ із економічністю й екологічністю електромотора.

Для обґрунтування вибору виду альтернативного палива необхідно враховувати наступні фактори: моторні властивості, наявність сировинної бази для його виробництва в більших обсягах протягом тривалого часу, наявність вели-

котоннажних технологій, системи транспортування й розподілу на місцях споживання, екологічні показники при роботі двигуна на даному паливі, вартість виробництва й розподілу палива.

У якості основних альтернативних палив для заміни палив нафтового походження розглядаються газ, спирти (метиловий і етиловий), водень, аміак, гідразин, синтетичні вуглеводні палива зі сланців і кам'яного вугілля, біопалива (біодизель).

Природній газ вже знайшов широке застосування у двигунах з електричним запалюванням і зовнішнім сумішоутворенням. При збереженні незмінного ступеня стиску перехід таких двигунів на газове паливо приводить до зниження їх потужності й економічності. Зменшення потужності двигуна пояснюється збільшенням приблизно в 7 раз об'ємного змісту газу в паливоповітряної суміші в порівнянні зі змістом у ній бензину. Відзначаються також погані пускові властивості двигуна на природному газі в холодний період року.

Перевагою газових палив є суттєво менша кількість викидів таких токсичних компонентів, як оксид вуглецю ( через збідніння суміші) і оксиду азоту, повна відсутність викидів з'єднань свинцю в атмосферу. Крім того, у двигуна на газовому паливі на 35 - 40% збільшується моторесурс, на 30 - 40% термін служби свіч, в 2-3 рази термін служби масла [12].

Перспективність застосування водню як палива для двигунів внутрішнього згоряння визначається насамперед його екологічною чистотою, необмеженістю й відновленням сировинної бази, його гарними моторними властивостями. Внаслідок широких концентраційних меж запалення палива можна забезпечувати роботу водневого двигуна в діапазоні складових суміші від 0,5 до 5. Це дозволяє підвищити ефективний ККД двигуна при роботі на часткових навантаженнях на 20 - 25% і при  $\alpha = 1,8 - 2$  забезпечити екологічно чисту роботу двигуна (при таких  $\alpha$  оксиди азоту практично не утворюються в камері згоряння). Також, водень можна використовувати для виробництва електроенергії на борту автомобіля за допомогою паливних елементів. Паливний елемент - електрохімічний пристрій, подібне гальванічному елементу, але одмінне від нього тим,

що речовини для електрохімічної реакції подаються в нього ззовні - на відміну від обмеженого кількості енергії, запасеного в гальванічному елементі або акумуляторі [12].

Паливні елементи здійснюють перетворення хімічної енергії палива в електрику, минаючи малоефективні, що йдуть з більшими втратами, процеси горіння. Це електрохімічний пристрій у результаті високоефективного «холодного» горіння палива безпосередньо виробляє електроенергію.

Незважаючи на принципову можливість переходу транспортних двигунів на водень, застосування його в якості палива стримується факторами, не зв'язаними безпосередньо із двигунами: високою вартістю виробництва й транспортування, відсутністю системи розподілу, складністю зберігання водню на борті автомобіля.

Водень в автомобілі може зберігатися в такий спосіб: у зрідженому виді в криогенних ємностях (температура кипіння водню 20,4 ДО), у стислому й за допомогою металогідридів. По ваговим і об'ємним показникам перша система краще, але й вона на порядок уступає системам зберігання бензину.

Метанол є одним з найважливіших за значенням і масштабом виробництва продуктом, виробленим хімічною промисловістю. Наприклад у Росії виробництво цього продукту становить більш 3 млн. тонн у рік, причому близько 50% йде на експорт. У перспективі виробництво може вирости, оскільки опирається на потужну сировинну базу: природний газ, вугілля, сланці, природні карбонати, різні відходи [25].

Метанол має гарні моторні властивості (високе октанове число, більш широкі чим бензин межі горіння), що сприяє підвищенню потужності й ККД двигуна. Додаткове поліпшення показників двигуна досягається завдяки зниженню температури паливо-повітряної суміші на впуску внаслідок більшої теплоти паротворення.

Метанол може бути використаний як високооктанова добавка до бензинів, як основне паливо для двигунів з електричним запалюванням і для дизелів, в умовах роздільної подачі добавки метанолу у двигун, що працює на рідкому

або газоподібному паливі, і як основа для одержання синтетичного бензину. На відміну від природного газу й водню метанол при нормальних умовах являє собою рідину. Це суттєво спрощує його транспортування, систему розподілу й зберігання на борті автомобіля, а також експлуатацію останнього. Для розподілу метанолу може бути використана система, створена для бензину, за умови вживання спеціальних заходів, що зменшують його корозійну дію на деякі матеріали [12].

Метанольний двигун характеризується кращими екологічними показниками: виключаються викиди свинцю при добавці метанолу до бензину, викиди оксидів азоту зменшуються на 33%, вуглеводнів - на 55%, оксиду вуглецю - на 43% [21].

### **Актуальність теми**

Основним споживачем нафтових палив у нашій країні є двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) транспортних засобів. Обсяги споживання ними палива настільки великі, що для організації виробництва якого-небудь альтернативного палива в необхідних кількостях будуть потрібні десятиліття. Тому вибір основного або декількох альтернативних палив для ДВЗ доцільно зробити в найближчому майбутньому.

З урахуванням вище перелічених факторів найбільший інтерес для України представляють природний газ (стислий і зріджений), водень, метиловий спирт (метанол), біодизель.

Найбільш ефективно використання метанолу як рідкого носія водню на борті автомобіля. Метанол містить 12,5% водню по масі. При температурі 500 - 670 В можна здійснити каталітичну конверсію метанолу у водневмістке паливо. Необхідна для даної ендотермічної реакції теплота підводиться від відроблених газів, двигуна та від автомобільного каталітичного нейтралізатора відроблених газів, (АКНВГ). Теплота згоряння продуктів конверсії, що містять близько 70% водню за обсягом, на 10 - 20% більше теплоти згоряння метанолу внаслідок протікання термохімічної регенерації теплоти [17].

Перетворення енергії палива в механічну енергію двигуна зв'язане зі значними втратами, тому слід домагатися їхнього зменшення. Одним з основних засобів підвищення енергетичної ефективності використовуваних рідких вуглеводних палив є конверсія. При цьому відбувається каталітичне розкладання попереднє випаруваного палива, з метою зміни його хімічного складу.

Отримані в результаті конверсії продукти містять водень, оксид і діоксид вуглецю, метан і інші вуглеводи. Процес конверсії доцільно поєднувати з термохімічною регенерацією теплоти (ТХРТ) газів, що відробили (ОГ). За рахунок цього нижча теплота згоряння продуктів конверсії підвищується більш ніж на 10%. У цілому конверсія рідких вуглеводневих палив і утилізація теплоти ОГ, з урахуванням забезпечення оптимальних регулювань складу палива - повітряної суміші дозволяють підвищити ККД двигуна. Наявність у складі продуктів конверсії водню розширює границі збідніння паливоповітряної суміші, що сприяє екологічним показникам двигуна [17].

#### **Ціль і завдання дослідження**

**Ціль роботи** – підвищення ефективності процесу конверсії метанолу.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені й вирішені наступні завдання:

- аналіз конструкцій гібридних автомобілів із ДВЗ;
- дослідження процесу конверсії метанолу при використанні його в якості палива на гібридних автомобільних силових енергетичних установках;
- розробка конструкції термохімічного регенератора теплоти газів, що відробили;
- розробка математичної моделі розрахунків необхідної продуктивності регенератора теплоти при роботі двигуна по їздовому циклу;
- експериментальне дослідження теоретичних розробок.

**Об'єкт дослідження** – процеси ТХРТ при перекладі ДВЗ на роботу на продуктах конверсії.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни індикаторних і ефективних показників ДВЗ при роботі на конгазу.



**Методи дослідження** . Методологічну основу проведених досліджень становить системний підхід до аналізу конструкцій гібридних автомобілів із ДВЗ, та моделювання розрахунків необхідної продуктивності регенератора теплоти при роботі двигуна по їздовому циклу.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

- одержали подальший розвиток дослідження процесу конверсії метанолу при використанні його в якості палива на гібридних автомобільних силових енергетичних установках.

**Практична значимість отриманих результатів.**

- виконаю аналіз конструкцій гібридних автомобілів із ДВЗ;
- розроблено конструкцію термохімічного регенератора теплоти.

**Апробація результатів роботи.**

Основні результати роботи були представлені та схвалені на X міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту” 23 - 25 жовтня 2017, ВНТУ, м. Вінниця.

**Публікації.**

1. Денисова Н.А. Дослідження процесів конверсії метанолу при використанні його в якості палива на гібридних автомобільних силових енергетичних установках /Н.А. Денисова, С.І. Шевченко, Є.В. Полупан Є.В. // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць конф., 5-7 жовтня 2017 р., м. Лиман (Донецька обл.) / відп. ред. Н.Б. Чернецька-Білецька. – Сєверодонецьк: СНУ ім.В.Даля, 2017. – С.48-51

2. Денисова Н.А. Исследование процессов конверсии метанола при использовании его в качестве топлива на автомобилях. / Н.А. Денисова, С.И. Шевченко // Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту” 23 - 25 жовтня ВНТУ, Вінниця 2017. - ISBN 978-966-641-707-0. С.205-207.

3. Шевченко С.И. Исследование фрикционных материалов для тормозных систем автомобильного транспорта. / С.И. Шевченко, Полупан Е.В., Н.А. Денисова // Збірник наукових праць VII-ї міжнародної науково-практичної конфере-

нції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» Сєверодонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017р. – С. 194-197.

**Структура та обсяг роботи.**

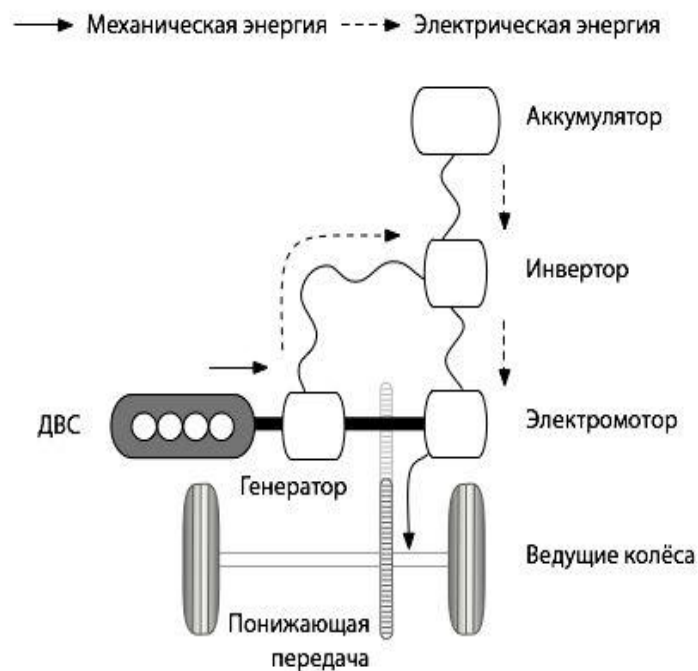
Магістерська робота складається із уведення, п'яти глав, висновку, списку посилань. Повний обсяг роботи містить – 89 сторінок, презентація магістерської роботи містить – 12 слайдів.

# 1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГІБРИДНИХ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ ІЗ ДВЗ

## 1.1 Типові схеми гібридних автомобілів

Гібридний автомобіль - автомобіль, що використовує для привода ведучих коліс різнорідну енергію.

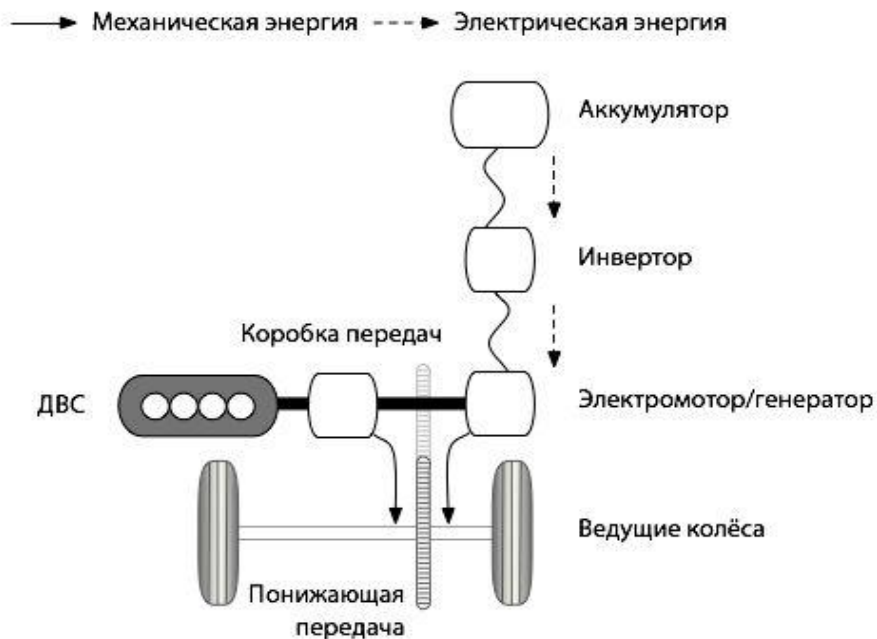
Існує три основні схеми пристрою гібридних силових установок: послідовна, паралельна й змішана. Послідовна гібридна схема (мал. 1.1) з'явилася першою (її придумав в 1899 році сам Фердинанд Порше), але в легкових автомобілях поширена менше. По ній, наприклад, побудовані силові агрегати кар'єрних самоскидів, деяких



Мал. 1.1 Схема послідовної гібридної силової установки

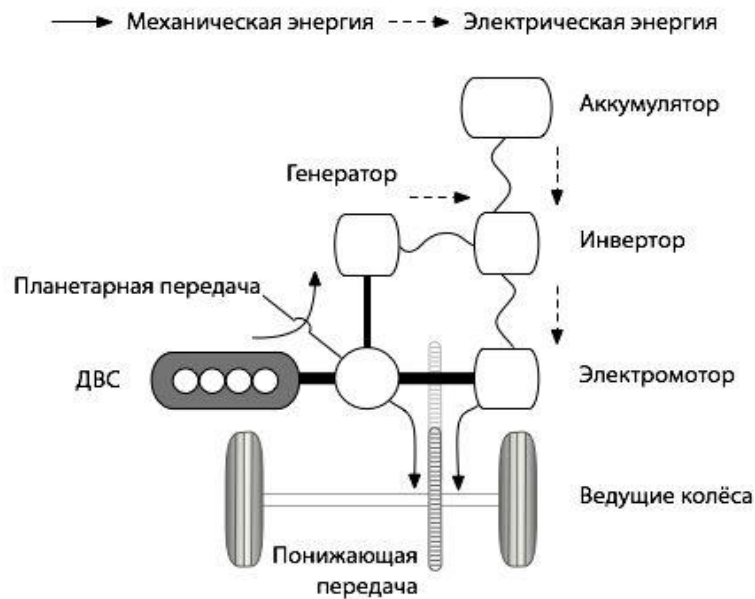
автобусів і локомотивів. У послідовній схемі колесам надає руху електромотор, а малолітражний ДВЗ крутить генератор, що виробляє електроенергію. Отут відсутня необхідність у коробці передач і потужному двигуні внутрішнього згоряння. Зате потрібні акумулятори великої ємності [10].

Найпоширеніша зараз схема – паралельна (мал. 1.2). Вона запатентована ще в 1905 році німцем Генрі Піпером. Їй відповідають майже всі помірні гібриди. Вони оснащуються потужним електромотором (10-15 кВт), який допомагає ДВЗ при розгоні, а при гальмуванні запасе рекуперативну енергію. У якості трансмісії, як правило, використовуються варіатор або планетарна передача [10].



Мал. 1.2 Схема паралельної гібридної силової установки

Поширені також змішані, або, як їх ще називають, послідовно-паралельні гібриди (мал. 1.3). Класичні представники цього сімейства – хетчбек Toyota Prius і Лексуси з індексом h, оснащені фірмовим «синергетичним» приводом HSD (Hybrid Synergy Drive). Завдяки планетарній передачі й виникає синергія – взаємодія ДВЗ і електромотора. Тут ДВЗ крутить колеса в парі з електромотором,



Мал.1.3 - Схема змішаної гібридної силової установки.

одночасно обертаючи генератор. У традиційній коробці передач немає необхідності: електроніка регулює оберти моторів і генератора, перетворюючи таку систему в безступінчасту трансмісію ECVT (Electric Continuously Variable Transmission) [10].

Усі три схеми гібридних автомобілів можуть бути значно спрощені із застосуванням мотор – колеса.

## 1.2 Аналіз конструкцій коліс гібридних автомобілів

В епоху гібридних і електромобілів колесо перемістилося на більш значиме місце, чим це було раніше. На нього найчастіше покладається функція силового агрегату, двигуна транспортного засобу. Вже найближчим часом колесо чекають досить істотні зміни.

Дванадцять років тому в лабораторіях компанії Michelin почалося створення екологічно чистого електричного колеса майбутнього, що вміщає в себе весь автомобіль, беручи до уваги кузов й сидіння: двигун, трансмісію, підвіску, рульове керування й гальмову систему. Схема мотор-колеса Michelin Active Wheel: два електродвигуни, електрична підвіска, гальмові механізми з електро-

магнітними актуаторами – усе це міститься усередині ободка автомобільного колеса (мал. 1.4).



Мал. 1.4 Схема електричного мотор-колеса компанії Michelin.

Авто з електричними мотор-колесами мають ряд вагомих переваг перед традиційними. У першу чергу ця відсутність безлічі складних і важких передавальних механізмів між двигуном і колесом – зчеплення, трансмісії, приводних валів і диференціалів. По-друге, відмінна динаміка: компактні й легкі електричні мотори здатні розбудовувати крутний момент аж до  $700 \text{ Н}\cdot\text{м}$  навіть на найнижчих обертах. По-третє, кероване мотор-колесо робить автомобіль надзвичайно маневреним – адже всі колеса можуть обертатися з різною швидкістю й навіть у різних напрямках. Машина здатна розвертатися на  $360$  градусів, паркуватися в самих складних умовах і миттєво адаптуватися до якості дорожнього покриття. В четверте, значно спрощується конструкція найважливішої для електромобілів системи регенерації енергії гальмування. Ну й в-п'ятих, ніщо не зможе зрівнятися з мотор - колесом у забезпеченні активної безпеки руху – усі просунуті електромеханічні алгоритми типу ABS, ESP, Traction Control, Brake Assist і так далі, запросто прошиваються в керуючий софт і впливають на кожне окреме колесо [10].

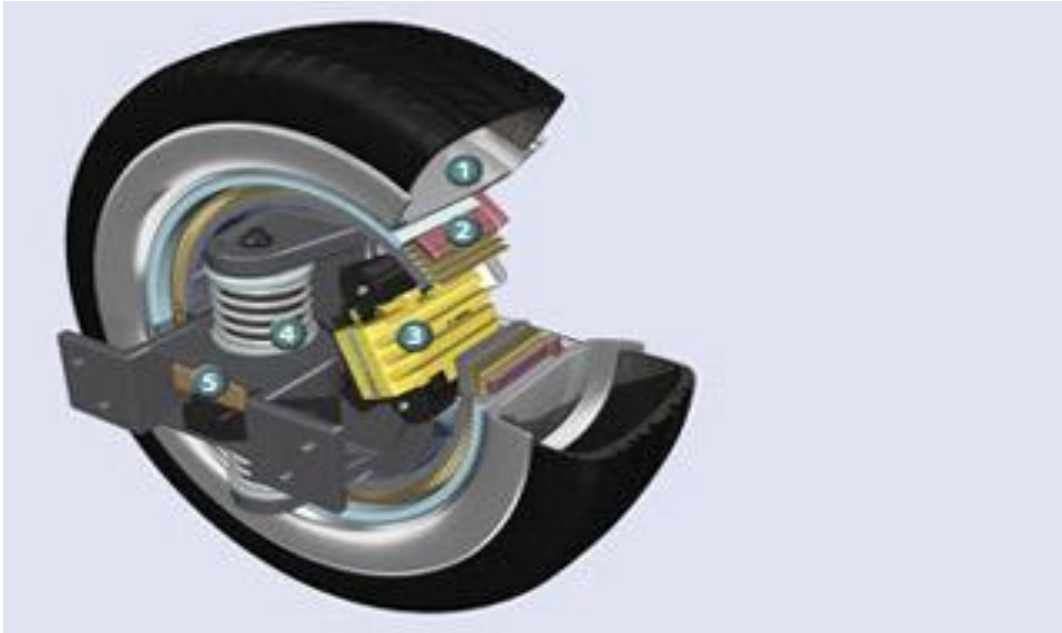
За перераховані переваги мотор-колесо розплачується настільки ж істотними недоліками. Головний з них – маса механізмів, що містяться в середині

ободка. Високооборотні електродвигуни мотор-коліс потребують понижувального редуктора. Він повинен бути компактним і герметичним. Редуктор додає кілька кілограмів до загальної маси колеса. Для традиційних автомобілів зайва вага в конструкції трансмісії не критична. Але для коліс діє зовсім інший принцип. Велика невіднесена маса, або, говорячи простіше, важкі колеса, різко знижує комфорт і керованість, підвищує зношування підвіски, передає на кузов вібрації. Оптимальна вага колеса для середнього по розмірам автомобіля становить від 10 до 30 кг без шини. Вписати в ці тверді рамки мотор-колесо дуже не просто [5].

Компанія Siemens VDO представила свою концептуальну розробку esopner, яка поєднує в колесі двигун, підвіску, гальма й рульове керування автомобіля (мал. 1.5). Розроблювачі впевнені, що в майбутньому автовиробникам буде досить створити кузов і встановити на нього колеса - машина готова.

Електродвигун в esopner розташовується безпосередньо на ободі колеса й може працювати не тільки при розгоні, але й при гальмуванні, регенеруючи електроенергію й заряджаючи батареї. При цьому фахівці компанії запевняють, що коефіцієнт корисної дії у подібного електродвигуна може досягати 96%. Для порівняння ККД самих найкращих бензинових і дизельних двигунів не перевищує 45%, а перспективні гібридні силові установки майбутнього зможуть досягати тільки 85% ККД [10].

У випадку, коли гальмового моменту двигуна недостатньо, зупинити машину допоможуть дискові гальма з електронним керуванням EWB. Колодки тут притискаються до диска не гідравлічними циліндрами, як на звичайних машинах, а двома електромоторами. Така конструкція дозволяє



Мал. 1.5 Розріз колеса ecorner: 1 - обід, 2 - вбудований електромотор, 3 - гальмовий механізм EWB, 4 - активна підвіска, 5 - електропривод рульового керування.

керувати гальмуванням кожного колеса автономно та позбавляє автомобіль від громіздкої й ненадійної єдиної гальмової системи.

Підвіска в ecorner також вбудована у середину колеса. Вона забезпечена датчиками, які постійно стежать за тиском у шинах і визначають рівень зчеплення колеса з поверхнею. Відповідно до показників цих датчиків електроніка налаштовує підвіску так, щоб автомобіль зберігав стійкість і високу плавність ходу. При цьому, підвіска ecorner забезпечена компактними електродвигунами, які повертають колеса навколо вертикальної осі незалежно друг від друга. Наприклад, усі чотири колеса автомобіля можна повернути в одну сторону, і машина поїде боком [10].

Багато років ідуть суперечки про винахід російського винахідника Василя Шкондіна "Двигуна Шкондіна" (запатентований уперше в 1991 році саме під такою назвою). Двигун улаштований у такий спосіб. Це «мотор у колесі» – дисковий агрегат, який кріпиться безпосередньо на вісь ведучого колеса й управляється без трансмісії, просто шляхом регулювання числа обертів. З'єднаний з віссю колеса ротор, по периметру якого закріплені постійні магніти





Мал. 1.7 Двигун Шкондіна.

з неодим-залізо-борного сплаву, обертається в статорі, на якому розміщені соленоїди. На соленоїди подаються короткі імпульси струму, що створюють змінне магнітне поле, що штовхає магніти ротора. Принцип дії двигуна чимсь схожий на принцип роботи лінійного прискорювача: магнітне поле виникає, діє на магніт на роторі строго певний час і відразу відключається. «Мотори в колесах» традиційної зараз конструкції змушено використовувати передачу – понижувальний редуктор. «Мотор Шкондіна» необхідності в редукторі не має: його оберти можна контролювати прямо [11].

"Мотор-колесо В. Шкондіна" являє собою імпульсну електромашину, серцем якої є розподільний колектор. Цей пристрій перетворює постійний струм, що надходить із акумулятора, у змінний багатofазний імпульсний. Завдяки роботі на постійному струмі досягається істотне здешевлення всієї конструкції в порівнянні з аналогами, що працюють на змінному струмі, тому що з'являється можливість замінити ряд деталей з дорогою електротехнічної сталі на деталі з дешевого композита.

Маючи всього сім деталей, мотор-колесо Шкондіна має високу надійність і простоту експлуатації, а вартість у десятки раз нижче закордонних мотор - коліс інших систем і у два рази дешевше китайських. Винахід уже випробуваний в іспитових партіях електромобілів різного призначення: електровелосипеди, інвалідні коляски й легкові автомобілі. Крутний момент двигуна - 200 Н\*м на

кожний кіловат потужності, що в півтора рази краще, ніж у найближчих конкурентів [11].

### 1.3 Загальні тенденції розвитку автомобільних ДВЗ

У теперішній час світове виробництво становить 80 млн. двигунів для легкових автомобілів у рік. Близько 50 % виробництва становлять дизелі. По даним британського Society of Motor Manufacturing and Traders, у середньому по Євросоюзі на дизельні автомобілі доводиться 50% від загального числа проданих, у тому числі у Франції — 70%, а у Великобританії — 38%. В 2000 році частка таких дизелів склала 25-30%. Тому саме в цій галузі найбільш відчутні досягнення інженерної думки й науково-технічного прогресу при проектуванні й виробництві двигунів внутрішнього згоряння [26].

Примітно, що багато фірм підходять до питань удосконалення ДВЗ комплексно, тобто розробляють програми або концепції розвитку техніки, що випускається. Як приклад можна назвати фірму Форд і концерн PSA. Так фірма Форд разом з фірмою Orbital Engine (Австралія) веде розробку двотактних автомобільних ДВЗ нової концепції, що дозволяє зберегти переваги двотактного ДВЗ у порівнянні із чотиритактним при усуненні властивих двотактним ДВЗ принципів недоліків. Останнє досягається застосуванням електронної системи упорскування палива в циліндри при закритих органах газообміну, завдяки чому витрати палива знижується на 20%, а токсичність відроблених газів, не перевищує норму при установці в системі випуску окисного нейтралізатора. Двотактний ДВЗ менше чотиритактного того ж класу по висоті й на 70 мм по ширині, легше на 30 кг, простіше по конструкції через відсутність клапанів і має підвищену питому потужність [11].

Збільшення питомої потужності мотора приводить, в остаточному підсумку, до скорочення витрати палива, тому що не потрібно транспортувати важкий мотор. Цього намагаються досягти за рахунок легких сплавів, удосконалювання конструкції й форсування (збільшення швидкості ходу й ступені стиску,

застосування турбонадува і т.п.). Але ця залежність дотримується не завжди. Зокрема, більш важкі дизельні двигуни можуть бути більш економічні, тому що ККД сучасного дизеля з турбонадувом доходить до 50 %.

Виходячи з перших результатів досліджень прототипів двотактних автомобільних ДВЗ, фахівці фірми вважають, що масове виробництво цих ДВЗ почнеться ще в поточному десятилітті.

Переважає більшість ДВЗ, що випускаються для легкових автомобілів становлять ДВЗ із примусовим запаленням від іскри й дизелі, тому аналіз тенденцій розвитку проведемо саме в такій послідовності. маючи на увазі, що з 1 січня 2000 і 1 січня 2005 року планується введення стандартів *Euro-3* і *Euro-4* відповідно [11].

#### **1.4 Автомобільні ДВЗ із запаленням від іскри**

Фірма Mercedes випустила новий 8-циліндровий V-Образний автомобільний двигун, у якому широко застосовані алюміній і магній, що дозволило зменшити масу двигуна на 35 кг у порівнянні із двигунами подібного типу, виконаними зі стандартних матеріалів, а також знизити на 42% втрати на тертя. У головці циліндра встановлено два впускні й один випускний клапан. Зменшення поверхні випускного каналу на 30% підвищило температуру газів, що відробили, після пуску на 70 С и прискорило прогрів каталітичного нейтралізатора. У кожному циліндрі встановлено дві свічі запалювання, розташовані діаметрально протилежно поблизу стінок циліндра, що зменшує кількість незгорілих вуглеводнів, і сприяє підвищенню циклової стабільності робочого процесу. Відповідно до навантаження й частотою обертання свічі включаються з коротким зрушенням одна щодо іншої. Цим знижуються швидкість наростання тиску в циліндрі й рівень шуму.

Фірма Honda запропонувала нову концепцію спортивного автомобіля на якому встановлений 3-циліндровий двигун з упорскуванням бензину в циліндри, а також бензинові двигуни, що відповідають нормам США LEV і ULEV і

навіть переважаючи їх. Уперше представлений двигун ZLEV (ZERO LEVEL EMISSION VEHICLE) нульові викиди транспортних засобів, у якому токсичність викидів знижена більш, ніж в 10 раз у порівнянні із двигуном ULEV. Ці результати досягнуті застосуванням механізму для зміни фаз газорозподілу, високою точністю електронного регулювання складу паливо-повітряної суміші й установкою трьох каталітичних нейтралізаторів. Один з них установлений безпосередньо біля двигуна, інший, гібридного типу, установлений під підлогою салону й третій, розташований за ними, містить електричний підігрівник. Система очистки відроблених газів, працює в оптимальному режимі при холодному пуску, прогріві й при нормальній експлуатації [10].

Фірма Mitsubishi приступила до серійного випуску бензинового двигуна CDI (Gasoline Direct Injektion) з упорскуванням бензину в циліндри. У новому двигуні з робочим обсягом 1,8л і  $N_e=92$  кВт потужність підвищена на 10%, а витрата палива знижена на 20% у порівнянні із двигунами з упорскуванням бензину у впускну систему. При роботі на часткових навантаженнях кількість подаваного палива відповідає утвору ультра бідної суміші. Поширення полум'я від центру до периферії дозволяє працювати зі ступенем стиску 12,5 без появи детонації. Паливо впорскується наприкінці такту стиску. При високих навантаженнях упорскування відбувається на такті впуску під тиском 5 Мпа.

У новій серії 3 легкових автомобілів фірми BMW установлюються 4-х і 6-ти циліндрові бензинові двигуни. У порівнянні з попередніми в нові двигуни внесений ряд змін. В 4-циліндрові бензинові двигуни встановлюються вали для зрівноважування сил інерції 2-го порядку. Поліпшена конструкція окремих пар тертя й на 3% знижена витрата палива, незважаючи на установку механізму зрівноважування. Застосування всесезонних синтетичних олій класу 5W40 побило пробіг до чергової його заміни з 15000 до 25000 км. Заміна свіч запалювання проводиться через 100 000 км пробігу. При робочому обсязі 1,9 л 4-циліндрові двигуни розбудовують  $N_e=87$  кВт і  $M_e=180$  Нм. В 6-циліндрових бензинових двигунах змінена конструкція головки циліндрів, у якій зменшена довжина контуру циркуляції охолодної рідини, уведена безступінчаста зміна

фаз газорозподілу, застосована резонансна система впуску й установлений каталітичний нейтралізатор потрібної дії.

З наведеної вище інформації можна виділити наступні тенденції розвитку автомобільних ДВЗ із примусовим запаленням:

- провідні двигунобудівні фірми знову виявляють цікавість до створення 2-тактних автомобільних ДВЗ;

- інтенсивна робота багатьох фірм по створенню електронних паливопостачальних систем, що забезпечують упорскування бензину безпосередньо в циліндри й можливість роботи як на гомогенних, так і на ультра-бідних сумішах;

- удосконалювання систем подачі повітря в циліндри й випуску газів, що відробили, застосуванням 4 і більш клапанів для чотиритактних ДВЗ і спрямованого руху повітря в процесі сумішоутворення, безступінчастої зміни фаз газорозподілу, застосування впускних і випускних трубопроводів змінюваної довжини.

- зниження втрат на тертя за рахунок застосування титан-магнієвих і алюмінієвих сплавів, істотного зниження мас основних деталей циліндрепоршневої групи й переходу на підшипники кочення й голчасті підшипники;

- зниження маси й габаритів двигуна за рахунок спеціальних конструктивних заходів.

## **1.5 Автомобільні дизелі**

В 1997 р. фірма Daimler-Benz випустила дизель ІЗ 220 уперше обладнаний системою Common Rail для подачі палива. До кінця 1998 року у ФРН експлуатувалося близько 65 000 автомобілів із системами Common Rail. Фахівці фірми Daimler-Benz планують застосувати цю систему на дизелях і малої й великої потужності.

При створенні автомобільних дизелів з нерозділеними камерами згоряння й малим робочим обсягом циліндрів основні труднощі розробки полягали у

твердих важко здійсненні для виробництва допусках на форму камер згоряння й погане розпилювання палива, що подавати в малих кількостях. З розвитком технології виробництва й створенням системи Common Rail для подачі палива ці труднощі долаються. Перші зразки, створені фірмами Fiat і Perkins в 1988 році показали можливість зниження витрати палива приблизно на 20% у порівнянні з дизелями з розділеними камерами згоряння тієї ж розмірності. Однак вони відрізнялися підвищеними рівнем шуму й токсичністю газів, що відробили. Тільки через 4 роки фірма Audi розробила 4-циліндровий дизель із  $V=1,9$  л, який став серйозним конкурентом навіть одному із кращих дизелів XUD з розділеними камерами згоряння, створеному фірмами Peugeot Citroen. Внаслідок цього обидві фірми спільно спроектували автомобільний дизель із нерозділеними камерами згоряння, робочим обсягом 2,0 л, турбонадувом і охолодженням надувального повітря. Потужність дизеля 80 кВт при  $4000 \text{ хв}^{-1}$  і  $M_e=249$  Нм при  $1250 \text{ хв}^{-1}$  [11].

Фірма Fiat установила в легковій автомобілі Alfa Romeo 156 перші дизелі із системою подачі палива Common Rail. Дизелі випускаються із чотирма й п'ятьма циліндрами й мають відповідно:  $V=1,9$  і  $2,4$  л,  $N_e=77$  і  $100$  кВт при  $4000$  і  $4200 \text{ хв}^{-1}$ ,  $M_e=255$  і  $304$  Нм при  $2000 \text{ хв}^{-1}$ . Випробування прототипів показали, що поліпшення робочого процесу, удосконалення системи рециркуляції газів, що відробили, і застосування ефективного каталітичного нейтралізатора з функцією Depon є реальними засобами для виконання вимог стандарту Euro-3 у двохклапанних двигунах без погіршення паливної економічності й без підвищення рівня шуму. У чотирьохклапанних конструкціях викиди Nox і твердих часток знижуються більшою мірою. Застосування систем Common Rail нового покоління з підвищеним тиском упорскування палива в комбінації зі зменшенням діаметрів соплових каналів розпилювачів дозволить знизити викиди Nox і твердих часток до рівня стандарту Euro-4. Зниження, що досягається при цьому, витрати палива впритул підводить до створення автомобіля з витратою палива  $3\text{л}/100$  км, хоча при цьому будуть потрібні заходи, що стосуються конструкції автомобіля й шин.

Фірма Mercedes установлює в легковий автомобіль 4-циліндровий дизель CDI (Common Rail Direct Injection) із системою подачі палива Common Rail. Можливість упорскування попередньої дози палива знизилася період затримки запалення й значно зменшила рівень шуму. Порівняння дизеля CDI із самим малошумним передкамерним дизелем фірми показало, що цей дизель має такий же, а в ряді випадків і менший рівень шуму в порівнянні з передкамерним. Крім того, дизель CDI розбудовував на 31% більшу потужність, удвічі більший крутний момент і витрачав палива на 15% менше.

Розглядаючи технічні характеристики дизелів з турбонадувом і нерозділеними камерами згоряння, що випускаються для легкових автомобілів необхідно відзначити, що дизелі такого типу з невеликим робочим обсягом будуть установлюватися в так звані " 3-літрові автомобілі". У таких дизелях застосовують системи подачі палива Common Rail і нові форсунки з п'єзогідролічним керуванням і часом реакції на керуючий сигнал, що становлять 0,1 мс [11].

Основними пріоритетами сучасної тенденції розвитку дизелів легкових автомобілів є: зниження витрати палива, збільшення питомої потужності й зменшення питомої маси, підвищення надійності й довговічності, здешевлення виробництва, обмеження рівня шуму, зниження токсичних викидів до рівня законодавчих норм. Виконання останньої вимоги веде до погіршення паливної економічності, що викликає необхідність пошуку компромісу. Для розв'язку цієї проблеми необхідно:

- поліпшувати якість розпилювання палива шляхом підвищення тиску упорскування понад 100 МПа через форсунки з малим діаметром соплових каналів;

- ретельно оптимізувати геометричні параметри камер згоряння й напрямку струменів, що впорскується палива для рівномірного розподілу за обсягом і мінімальним влученням крапля палива на стінки камери згоряння або для мінімального влучення палива в обсяг повітряного заряду;

- гарне перемішування палива з повітрям шляхом завихрювання повітряного заряду й регулювання інтенсивності завихрювання залежно від режимних параметрів ДВЗ;
- застосування електронної системи керування кутом випередження упорскування й циклової подачі палива.

## 1.6 ДВЗ на природному газі

Останнім часом об'єктивна необхідність економії ресурсів нафти привела до збільшення числа автомобілів, що працюють на газових паливах.

Практичний досвід експлуатації газобалонних автомобілів показав ряд їх переваг.

Стосовно бензину пропан і бутан мають більш високу масову теплоту згоряння й характеризуються високою детонаційною стійкістю. Вони є гарним паливом для двигунів внутрішнього згоряння із примусовим (іскровим) запаленням. При перекладі автомобіля на пропан - бутанову суміш його експлуатаційні властивості не тільки зберігаються, але й по ряду показників поліпшуються в порівнянні з базовою (бензиною) моделлю [1].

Усі автомобілі мають резервну систему живлення бензином на випадок відсутності газу. Запас ходу, вантажопідйомність, паливна економічність (в енергетичному еквіваленті) і тягово-швидкісні якості газобалонних автомобілів перебувають на рівні бензинових моделей або відрізняються від них незначно. Разом з тим практичний досвід експлуатації газобалонних автомобілів показав ряд їх переваг. Завдяки відсутності рідкої фази (фракцій вуглеводнів) у паливо-повітряній суміші забезпечується більша рівномірність її розподілу по циліндрах двигуна, виключається змивання змащення з їхній дзеркала, а забруднення масла й нагароутворення значно знижуються. У результаті ресурс роботи двигуна, його міжремонтний пробіг зростають в 1,4 - 2, а періодичність зміни моторного масла – в 2 - 2,5 рази. Однак з - за більшої складності газобалонної системи живлення трудомісткість її технічного обслуговування й ремонту зростає



на 3-5%. Крім того, з – за гірших пускових властивостей зріджених газів надійний пуск холодного двигуна можливий при температурі навколишнього повітря до -5...-7 °С. При більш низьких температурах в умовах безгаражного зберігання для запуску двигуна потрібно його теплова підготовка. Для цієї мети використовують підігрів за допомогою газових інфрачервоних випромінювачів, гарячого повітря, прокачування системи охолодження гарячою водою й ін. При відсутності необхідних засобів допускається запуск двигуна на резервному бензині з переключенням після прогріву на газове паливо. Однак це є винятковим заходом, тому що веде до додаткової витрати бензину й знижує економічну ефективність газобалонного автомобіля [1].

Найпоширеніший варіант застосування природного газу у двигуні із зовнішнім сумішоутворенням і примусовим (іскровим) запаленням зі збереженням ступеня стиску на рівні, що відповідає при використанні товарних бензинів. Переключення двигуна на газове паливо веде до зниження індикаторного К. П. Д. і зменшенню максимальних циклових тисків, тобто втратам потужності й зниженню економічності. Більш низьке значення К.П.Д. газового двигуна пов'язане з підвищеними вентиляційними втратами й меншою потужністю двигуна. У свою чергу, падіння потужності, що розвивається, пояснюється погіршенням наповнення двигуна й меншою теплотою згоряння стехіометричної газоповітряної суміші. Зниження К. П. Д. і погіршення паливної економічності газового двигуна до деякої міри компенсуються за допомогою оптимальних регулювань на роботу з  $\alpha=1,2-1,3$  (бідні суміші) у режимі часткових навантажень [2].

При використанні природного газу як моторного палива відзначені його погані пускові властивості. Граничне значення температури холодного пуску двигуна (без додаткових засобів підігріву) на природному газі на 3-8 °С вище, чим на пропан-бутані. Труднощі пуску пояснюється високою температурою запалення метану й тим, що в процесі запалення (після декількох спалахів) на свічах осаджується вода, шунтувальна іскровий проміжок. Важливою гідністю газових палив у порівнянні з нафтовими є кращі екологічні характеристики й насамперед зменшення викидів шкідливих речовин з газами, що відробили,

двигуна. Застосування газових палив з високою детонаційною стійкістю виключає необхідність використання токсичного антидетонатора, що є ефективним чинником зниження забруднення навколишнього середовища. Зміна змісту оксиду вуглецю при роботі двигуна на газі й бензині залежно від складу паливо-повітряної суміші приблизно однаково. Однак, враховуючи можливість роботи газового двигуна на більш бідних сумішах, при його оптимальному регулюванні забезпечуються більш низькі викиди  $3$  [1].

Рівні викидів вуглеводнів також приблизно однакові, але їх склад принципово різний. Шкідливий вплив вуглеводнів, що утворюються в продуктах згоряння нафтових палив, обумовлене головним чином утвором смогу. При роботі на природному газі вуглеводнева частина відроблених газів, полягає в основному з метану, що володіє високою стійкістю до утвору смогу. Оксиди азоту - найбільш токсичні компоненти відроблених газів. Їхній максимальний зміст для газового двигуна приблизно у два рази менше, чим у бензинового. Воно може бути ще знижене в 2-3 рази за рахунок регулювання складу паливної суміші [2].

При використанні стисненого газу в якості моторного палива моторесурс двигуна збільшується на 35-40%, термін служби свіч - на 30-40%, витрата моторного масла знижується завдяки збільшенню періодичності (строку) його зміни в 2-3 рази. Разом з тим переклад автомобілів на стислий природний газ погіршує деякі експлуатаційні показники: потужність двигуна знижується на 18-20%, що веде до зниження максимальної швидкості на 5-6%, час розгону зростає на 24-30% і максимальні кути подоланих підйомів зменшуються. Через велику масу балонів для зберігання газу високого тиску вантажопідйомність автомобіля знижується на 9-14%. Дальність їзди на одному заправленні газу не перевищує 200-280 км. Через наявність додаткової паливної системи трудомісткість технічного обслуговування й ремонту газового автомобіля збільшується на 7-8% [1].

## 1.7 ДВЗ на спиртах

Переважне використання спиртів у двигунах внутрішнього згорання із примусовим (іскровим) запалюванням визначають їхні високі антидетонаційні якості. При цьому основні заходи щодо перекладу автомобілів на роботу на чистих спиртах зводяться до збільшення місткості паливного бака (якщо буде потреба збереження без заправного пробігу), збільшенню ступеня стиску двигуна до  $\varepsilon = 12 - 14$  з метою повного використання детонаційної стійкості палива й перерегулювання карбюратора на більш високі його витрати (у відповідності з коефіцієнтом) і більший ступінь збідніння суміші. Низький тиск насичених пар і висока теплота випару спиртів роблять практично неможливим запуск карбюраторних двигунів уже при температурах нижче  $+10^{\circ}\text{C}$ . Для поліпшення пускових якостей у спирти додають 4-6% ізопентана або 6-8% диметилового ефіру, що забезпечує нормальний пуск двигуна при температурі навколишнього повітря від  $-20$  до  $-25^{\circ}\text{C}$ . Для цієї ж мети спиртові двигуни обладнуються спеціальними пусковими підігрівниками. При нестійкій роботі двигуна на підвищених навантаженнях через поганий випар спиртів потрібен додатковий підігрів паливної суміші за допомогою, наприклад газів, що відробили [8].

З енергетичної точки зору переваги спиртів полягають головним чином у високому ККД. робочого процесу й високої детонаційної стійкості. Величина ККД спиртового двигуна вище бензинового у всьому діапазоні робочих сумішей, завдяки чому питома витрата енергії на одиницю потужності знижується. Використання метанолу у двигуні разом з підвищенням ступеня стиску до 14,0 дозволяє збільшувати максимальне значення ефективного К. П. Д. на 5-7%. Ці фактори, а також високий коефіцієнт наповнення дозволяють суттєво підвищити потужність спиртового двигуна. Одночасно трохи зростає середній ефективний тиск, пропорційне крутному моменту, що є істотною перевагою для автомобільного двигуна [7].

Низька енергоємність спиртів веде до збільшення питомої витрати палива, зокрема для метанолу приблизно вдвічі. Так, при дорожніх випробуваннях

легкового автомобіля «Chevrolet» із двигуном робочим обсягом 5,7 л і  $\varepsilon = 7,5$  витрата метанолу змінювалася від 21,8 л при швидкості 48 км/год до 31,4 л при 112 км/ч. Енергетична й паливна економічність цього автомобіля при швидкості руху 80 км/год становлять: на бензині 13,66 л/100 км і 3,61 Мдж/км, а на метанолі 26,74 л/100 км і 3,45 Мдж/км[7].

Токсичні й економічні показники метанольного двигуна значно поліпшуються при гарячому пуску. При випробуваннях автомобіля «Volkswagen Passat» по європейському їздовому циклу організація гарячого пуску знизилася в порівнянні з холодним викидом викиди CO із 102 до 36, а [CH] – з 12 до 5,7 г/цикл. При цьому підігрів метанольно-повітряної суміші у впускному патрубку до 60 °C зменшив зміст альдегідів у газах, що відробили, в області стехіометричних сумішей майже на порядок, а в багатій і бідній – приблизно вдвічі; паливна ж економічність покращилася майже на 25% [7].

Поряд з позитивною екологічною ефективністю використання спиртових палив слід зазначити й такі негативні явища, як підвищені викиди альдегідів і випару вуглеводневих з'єднань. Зміст альдегідів росте зі збільшенням концентрації спиртів у паливній суміші. Для метанолу характерні викиди формальдегіду, у той час як при згорянні етанолу утворюється переважно ацетальдегід. Мінімальні викиди альдегідів відповідають стехіометричному складу паливної суміші й зростають при її збідненні або збагаченні. У середньому викиди альдегідів при роботі на спиртах приблизно в 2 - 4 рази вище, чим при роботі двигуна на бензині. Їхні зниження домагаються при добавці до спиртів води ( до 5%) і присадок до палива до 0,8% аніліну, підігріві повітря на вході у двигун. Експлуатаційні властивості метанольного палива, і в першу чергу енергетичні показники й пускові якості, поліпшуються при додатковому введенні вищих спиртів і ефірів. Такі палива одержали назву сумішевих спиртових палив. Випробування однієї з композицій сумішевого палива, проведені в НІАТЄ, показали збільшення потужності двигуна на 4 - 7% і поліпшення паливної економічності (у порівнянні із чистим метанолом) на 10 - 15%, при цьому зміст у газах, що відробили, оксидів азоту знижується на 25 - 30% у порівнянні з роботою на

бензині. Використання спиртів у дизелях ускладнюється через низькі метанові числа, високої температури самозапалювання й поганих змащувальних властивостей, що ведуть до підвищеного зношування паливної апаратури. Робота дизелів на спиртових паливах можлива при використанні суміші спиртів і дизельного палива з підвищеним метановим числом, уведенні в паливо присадок, що активують, подачі спиртів у випаруваному виді, упорскуванні запального дизельного палива, переустаткування дизеля у двигун з іскровим запаленням. З перерахованих варіантів найбільш прийнятної для експлуатації є добавка до спиртів різних присадок. У якості присадок, що поліпшують займистість спиртів, використовують ізопропілнітрат, пентилнітрат і ін. [8].

Для поліпшення змащувальних властивостей у спиртові палива звичайно вводять до 1 % касторового масла. Дослідження етанолу із присадкою 12% гексилнітрата, проведені на дизелі, показали, що при перерегулюванні паливного насоса на підвищені витрати відповідно до теплоти згоряння етанолу характеристики двигуна близькі до параметрів роботи на звичайному дизельному паливі. Склад газів, що відробили, трохи поліпшується завдяки зниженню змісту оксидів азоту й повному усуненню диміння, хоча на холостому ходу спостерігаються підвищені викиди незгорілого етанолу й ацетальдегіду.

При використанні чистих спиртів як у карбюраторних, так і у дизельних двигунах відзначаються підвищені зноси деталей циліндропоршневої групи. Збільшення зношування при роботі двигуна на спиртах можливо з ряду причин, основні з яких: попадання у циліндри значної кількості невиварованого спирта та змив їх змазки, погіршення змащення через утворення на поверхнях, що труться спирто-водно-масляної емульсії, взаємодія спиртів з присадками масел і зниження їх ефективності. Крім того, спирти і їх корозійні, агресивні продукти згоряння (формальдегід, ацетальдегід, мурашина кислота) впливають на такі метали, як алюміній і сплави свинцю й міді. Як показали дослідження, найбільше зношування двигуна спостерігається при використанні метанолу. При експлуатації двигуна на етанолі при нормальних температурах зношування ни-

жче, однак, він значно збільшується на низькотемпературних режимах роботи [8].

Для забезпечення надійної експлуатації двигунів і зниження зношування при роботі на чистих спиртах необхідні спеціальні моторні масла. Для цієї мети розроблені масла марок ELA-5046 і ELA-5048, що містять надлужний сульфат кальцію, діалкілдитиофосфат цинку й модифікатор тертя. Обидва масла випробувані в таксомоторному парку (г. Сан-Пауло, Бразилія) зі строком зміни 20 і 10 тис. км пробігу для першої й другої марки масла відповідно. Використання зазначених масел забезпечило безвідмовну роботу двигунів на чистому етанолі: після пробігу 60 тис. км підвищеного зношування відзначене не було [7].

Основною проблемою при експлуатації двигуна на метанолі є токсичність палива. Роль цього фактора вивчена поки недостатньо. У кожному разі через високу летючість метанолу потрібна ретельна герметизація паливо – системи, що подає, автомобіля. Крім того, необхідно виключити влучення газів, що відробили, двигуна в кабінку водія, зокрема обладнати двигун замкненою системою вентиляції картера.

### **1.8 ДВЗ на водні**

Детонаційні подібні явища, характерні для роботи двигуна на водні, вивчені недостатньо. Згідно з більшістю даних, водень починає детонувати при ступенях стиску  $\varepsilon=6$  у широкому діапазоні  $\alpha$ . У той же час очищення камери згоряння (видалення нагару й виступаючих крайок, шліфування поверхні) дозволяє здійснити роботу на водні при  $\varepsilon$ , близьких до 10, і стехіометричних паливних сумішах. Критичний ступінь стиску при стехіометричному складі воднево-повітряних сумішей не перевищує 4,7, що відповідає октановому числу по дослідницькому методу 46, у той час як при  $\alpha=3,5$  вона досягає 9,4 і октанове число - 114. Таким чином, при достатньому збідненні суміші можлива бездетонаційна робота водневого двигуна в широкому діапазоні ступенів стиску [4].

Склад газів, що відробили, водневого двигуна суттєво відрізняється від складу газів бензинового двигуна внутрішнього згорання в основному за рахунок відсутності вуглецю в паливі. Проте в газах, що відробили, водневого двигуна присутня незначна кількість CO і [CH], наявність яких обумовлено вигоранням вуглеводневих змащень, що попадають у камеру згорання. Максимальний викид оксидів азоту внаслідок більш високих температур згорання водню приблизно вдвічі перевищує викиди NOx бензиновим двигуном. Зі збідненням суміші викиди оксидів азоту у водневого двигуна швидко знижуються і при  $\alpha=1,8$  практично відсутні. Добавка до водневого палива води дозволяє різко знизити викиди оксидів азоту без істотних втрат потужності двигуна або погіршення його к. п. буд. Так, при масовому відношенні  $H_2$  ПРО/ $H_2$  = 8 викиди NOx зменшуються в середньому в 8-10 раз [4].

Висока реакційна здатність водню приводить до проскакування полум'я у впускний трубопровід, передчасному запаленню й твердому згорянню паливних сумішей. Цих недоліків можна уникнути, якщо модифікувати паливо-систему, що подає, двигуна. У цей час для подачі водню у двигун застосовують наступні способи: упорскування у впускний трубопровід; модифікований карбюратор (як у системах живлення пропан-бутановими й природними газами), індивідуальне дозування водню у впускний клапан кожного циліндра; безпосередній виприск під високим тиском у камеру згорання [5].

Перші два варіанти забезпечують усталену роботу двигуна тільки при частковій рециркуляції газів, що відробили, або добавці води до паливної суміші. Часткова рециркуляція газів, що відробили, запобігає проскакуванню полум'я за рахунок розведення заряду інертними компонентами й зм'якшує згорання при роботі двигуна на багатих воднево-повітряних сумішах. У той же час завдяки зниженню максимальних циклових температур викиди NOx зменшуються. Кількість рециркульованих газів не перевищує 10-20% від вступники у двигун паливної суміші, однак будь-який ступінь рециркуляції веде до додаткового зниження наповнення циліндра. На відміну від рециркуляції упорскування води або бензину (звичайно у впускний патрубок) не погіршує наповнення [6].

## 1.9 Інші види альтернативних палив

У нинішній час значно проявляється інтерес до водневого транспорту на паливних елементах.

Головна перевага впровадження паливних елементів на автомобілях: високий ККД. Наприклад, паровоз за 150 років своєї еволюції зміг досягти 5% ККД. ККД сучасного автомобільного двигуна внутрішнього згорання досягає 35%, а ККД водневого паливного елемента - 45% і більш. Під час випробувань автобуса на водневих паливних елементах канадської компанії Ballard Power Systems був продемонстрований ККД в 57%. ККД класичного свинцевого акумулятора вище - до 70-90%. Але основний фактор, що стримує масове виробництво електромобілей - дорожня й недосконалість акумуляторів. Також перспективним напрямком є застосування на гібридних і електричних автомобілях суперконденсаторів.

На автомобілях і автобусах установлюють, як правило, паливні елементи на протон - обмінній мембрані (РЕМ). Їхні основні переваги: компактність, мала вага, низька температура процесу.

В 2002 році Департамент Енергетики США (DoE) поставив мету - знизити до 2010 року вартість паливних елементів до \$45 за 1 кВт установленної потужності й до \$30 за 1 кВт до 2015 року (у доларах 2002 року, без обліку інфляції). Це означає, що бортове джерело електроенергії для силової установки потужністю 100 кВт. (134 л. с.) буде коштувати \$3000, що порівнянне з вартістю двигуна внутрішнього згорання<sup>[12]</sup>.

Автомобілі із силовими установками на водневих паливних елементах роблять і випробовують.

Opel Zafira із силовою установкою на водневих паливних елементах потужністю 94 кВт в умовах Вашингтона споживає 1,83 кг водню на 100 миль (160 км) пробігу, тобто 14,3 літра бензинового еквівалента. Бензиновий аналог Opel Zafira із двигуном обсягом 1,6 л потужністю 85 кВт споживає 5,8 л бензину на 100 км в умовах траси.



National Renewable Energy Laboratory (США) у своїх розрахунках використовує середню дальність пробігу легкового автомобіля рівну 12000 миль у рік (19200 км), споживання водню – 1 кг на 60 миль (96 км) пробігу. Тобто одному легковому автомобілю на водневих паливних елементах у рік потрібно 200 кг водню, або 0,55 кг у день. Один кілограм водню вважають рівним по енергетичній цінності одному галону (3,78 л) бензину.

У багатьох країнах вивчається можливість використання рослинних олій у якості палива для дизельних двигунів. Особливістю рослинних олій у порівнянні з товарними дизельними паливами є більш висока в'язкість і щільність, високий зміст (8-9%) кисню й обумовлене цим деяке зниження теплоти згоряння палива.

При роботі дизельних двигунів на рослинних оліях к. п. буд. трохи вище, чим при роботі на товарному дизельному паливі, однак потужність знижується на 5-20% залежно від виду масла. Через знижену теплоту згоряння паливна економічність двигуна трохи погіршується й, крім того, спостерігається підвищена кількість углеродистих відкладань при тривалій роботі. Експлуатаційні властивості рослинних олій можуть бути поліпшені шляхом їхнього очищення або введення спеціальних присадок [8].

На підставі експериментів установлене, що передкамерні дизелі при роботі на рослинних оліях мають кращі характеристики й менш схильні до виходу з ладу, чому дизелі з нерозділеною камерою згоряння. Так, у дослідженнях тракторного дизеля «Stuer WD 408/43» на суміші рапсового масла й дизельного палива в рівному співвідношенні після 287 год експлуатації спостерігалось залягання кілець, засмоління випускного каналу й значні відкладання на випускних клапанах, хоча розпилювачі форсунок і елементи паливного насоса високого тиску залишалися без зміни. При випробуваннях суміші соняшникового масла з дизельним паливом у співвідношенні 2:8 на передкамерних дизелях типу «Deutz F3L 912» після 400 год експлуатації виявлене закоксування соплових каналів розпилювачів форсунок. У той же час передкамерні дизелі фірми

«Deutz» задовільно працювали на очищеному соняшниковому маслі протягом близько 2000 тис. год в умовах рядової експлуатації.

У зв'язку з високою вартістю виробництва рідких моторних палив з вугілля протягом багатьох десятиліть вивчається можливість безпосереднього використання вугілля в поршневих двигунах внутрішнього згоряння. Уперше ідея застосування вугільного пилу для цієї мети була висловлена ще в 1893г. Р. Дизелем. Перший двигун на пиловугільному паливі був побудований у Німеччині в 1928 р. Р. Павликовським. Цей двигун «Космос-Рупамотор» розмірністю 500/720 мав потужність 103 кВт (140 л. с.) при частоті обертання  $166 \text{ хв}^{-1}$  і к. п. буд. =31%. Вугільний порошок подавався за допомогою стисненого повітря й для його запалення в камеру згоряння подавали запальну дозу рідкого палива [6].

Досвід створення дизелів, що працюють на пиловугільному паливі, показав можливість використання для цієї мети різноманітного асортиментів твердого палива, включаючи кам'яне вугілля, торф, деревину, їх суміші, органічні відходи. Основною вимогою до твердого палива є прийнятна займистість, висока температура й швидкість згоряння, мінімальні відкладання в камері згоряння, зв'язані як зі змістом у паливі золи, так і з її складом.

Простим і надійним способом подачі вугільного пилу є її переміщення під дією своєї маси з наступним вдмухуванням у камеру згоряння за допомогою стисненого повітря. При цьому важливо зберегти порошкоподібний стан палива й виключити можливість брикетування або часткового коагулювання. Для цієї мети звичайно використовується обертовий розподільник [6].

Висока зольність пиловугільного палива приводить до значних відкладань у камері згоряння й підвищеному зношуванню деталей двигуна (клапанів, циліндрів, поршневих кілець і т.п.). Наприклад, при витраті 50 кг/год пиловугільного палива зольністю 6% на робочій поверхні утворюється близько 3 кг відкладань. Зношування циліндрів при цьому досягав 0,05 мм і більш, тобто на порядок вище в порівнянні зі зношуванням при роботі на важких нафтових паливах. Для зниження відкладань золи запропонований ряд способів, з яких найбільш ефективним виявилася продувка. Наприклад, ще Р. Павликовським вико-

ристовувалася потрійна продувка стисненим повітрям для очищення циліндра від золи. Одночасно рекомендуються спеціальні конструкційні матеріали для підвищення зносостійкості деталей двигуна, зокрема хромонікелевий чавун і чавун із присадкою молібдену. Проведені дослідження показали, що при використанні спеціальних конструктивних матеріалів зношування знижується до рівня звичайних двигунів [6].

Питома витрата палива в досвідчених конструкціях сучасних пиловугільних дизелів становить у середньому 380- 400 г/(квт-ч), або 280-300 г/(л.с.-ч), а витрата енергії 8,55 мдж/(квт-ч), або 1500 ккал/(л.с.-ч). Завдяки цьому, навіть із урахуванням додаткових енерговитрат на здрібнювання твердого палива, сумарна енергетична ефективність вугільного палива при безпосередньому його використанні у двигунах вище в порівнянні зі схемою переробки в рідке паливо [6].

Подальшим розвитком методів використання пиловугільного палива є застосування його у вигляді суспензії в суміші з дизельними паливами, маслами й іншими рідкими продуктами. Така схема дозволяє спростити конструкцію двигуна, підвищити надійність його роботи й поліпшити паливно-економічні показники.

### **1.10 Виводи до розділу 1**

Незважаючи на те, що запропонований ряд альтернативних типів силових установок автомобілів і альтернативних палив, жодне із пропозицій не знайшло практичного застосування. Електроавтомобілі мають обмежений запас ходу. Двигуни, що працюють на природному газі, відрізняються низькою токсичністю викидів, але базуються на невідтвореному паливі. Біопаливо, наприклад, дизельне паливо на базі рапсового масла, найбільш застосовне в порівнянні з іншими альтернативними паливами, вимагає відводу значних площ під посіви рапсу. Автомобілі з паливними елементами перебувають на самій ранній стадії розробки, відсутність водневої інфраструктури. Для детальної оцінки можливих напрямків і їх потенційних можливостей фірми Volkswagen, Daimler-Bens,

BMW і Man працюють тепер разом з енергетичними концернами Rwe, Aral і Deutsche Shell над розробкою стратегії пошуків. Подібні роботи проводяться в США й у Японії. За базові прийняті умови: запасів нафтових палив вистачить на найближчі 40 років, природних газів – на наступні 70 років. Експерти вважаються, що в плинні цього періоду основними типами двигунів залишаться дизелі й бензинові двигуни.

Швидко мінлива на світовому ринку ситуація з ресурсами нафти й цінами на неї, а також значні резерви, що кроються в можливості збільшення виробництва моторних палив за рахунок більш раціонального споживання нафтопродуктів і поглиблення переробки нафти, стримують масштаби й темпи виробництва й застосування моторних палив з нетрадиційних видів сировини. Більшість альтернативних моторних палив по своїм фізико – хімічним і експлуатаційним властивостям відрізняються від нафтових палив, що також ускладнює можливість широкомасштабного їхнього використання, викликає необхідність модифікації двигуна й автомобіля.

## **2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОНВЕРСІЇ МЕТАНОЛУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЙОГО В ЯКОСТІ ПАЛИВА НА ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ**

### **2.1 Метанол як основний замітник рідких нафтових палив для двигунів гібридних автомобілів**

З розглянутих вище альтернативних палив найбільший інтерес у якості масового перспективного палива представляють спирти, у першу чергу метиловий і етиловий. Перспектива використання їх як альтернативних палив визначається в основному наявністю сировинної бази. Метанол щодо цього більш кращий, оскільки основою для його одержання можуть бути природний газ, вугілля, сланці, природні карбонати, різні відходи й ін. Крім того, немаловажне значення мають налагоджена технологія виробництва й прийнятні техніко-економічні показники. У цей час метанол одержують в основному із природного газу, а з урахуванням значних запасів твердих палив перспективним є одержання його з вугілля. Потенційною сировиною для розширення виробництва метанолу можуть служити також попутні гази, що й відходять, металургійних і феросплавних виробництв, природні карбонати, а в перспективі можливе використання діоксида вуглецю з повітря [7]. Метанол є одним з найважливіших за значенням і масштабом виробництва продуктом, вироблюваним хімічною промисловістю, що обумовлене різноманіттям сфер його застосування: одержання оцтової кислоти, синтетичних білкових препаратів, використання в якості моторного й енергетичного палива й ін [7].

На відміну від природного газу, що широко застосовується, метанол при нормальних умовах являє собою рідину, і система його розподілу й зберігання на борті автомобіля більш проста. Крім того, метанол має більшу енергощільність в порівнянні із природним газом. У міру розширення сировинної бази собівартість виробництва метанолу буде значно знижуватися [12].

У порівнянні з нафтовими паливами в метанола більш схована теплота паротворення, менша теплота згоряння, високі антидетонаційні властивості, ширше межі запалення, кращі енергетичні показники. Деякі параметри, що визначають моторні властивості метанолу й бензину, представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри, що визначають моторні властивості метанолу й бензину

Показники	Метанол	Бензин
Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива, кг/кг	6,45	15,0
Нижча теплота згоряння, кДж/кг	21500	44000
Теплота згоряння стехіометричної суміші, кДж/кг	2623	2677
Теплота випару, кДж/кг	1170	300
Межі кипіння (область кипіння), ДО	338	310-470
Зниження температури суміші при випарі (суміш стехіометричного складу), ДО	122	20
Тиск насичених пар, кПа	13	65-92
Концентраційні межі горіння 0С	0,7-2,0	0,6-1,5

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг метанолу у два рази менше, чим для бензину. Це пояснюється наявністю зв'язаного кисню в молекулі метанолу, що сприяє зниженню теплоти згоряння. Для стехіометричного згоряння у двигуні повинна бути подана приблизно подвійна масова кількість метанолу, у зв'язку, із чим необхідно зробити певні зміни в системі живлення (побільшати прохідні перетини паливних жиклерів і продуктивність паливо-підкачуючого насоса). Для забезпечення достатнього запасу ходу обсяг паливного бака повинен бути збільшений приблизно вдвічі, що розглядається як один з недоліків метанолу. У той же час теплота згоряння паливо-повітряних сумішей метанолу й бензину практично однакова, завдяки чому при переході на метанол ( за інших рівних умов) потужність двигуна не знижується. Однак внаслідок високої теплоти паротворення й меншої кількості повітря, необхідного

для згорання, при випарі метанолу у впускній системі відбувається значне зниження температури, що підвищує щільність заряду циліндра й приводить до збільшення потужності й ефективного ККД двигуна. У зв'язку з низьким тиском насичених пар метанолу виникають труднощі при холодному запуску й прогріві двигуна. Висока теплота паротворення метанолу знижує температуру паливо-повітряної суміші у впускному патрубку при випарі більш ніж на 100 ДО, що утрудняє одержання однорідної суміші й рівномірність її розподілу по циліндрах ( при стандартній впускній системі ДВЗ із електричним запалюванням). Більш широкі межі запалення метанол-повітряних сумішей дозволяють забезпечити роботу двигуна при бідних складових сумішей, у зв'язку, із чим поліпшується індикаторний ККД, знижується витрата палива на часткових навантаженнях, полегшує регулювання двигуна по складу суміші в умовах експлуатації й знижується токсичність газів, що відробили. До важливих переваг метанолу слід віднести і його високу антидетонаційну стійкість, що дає можливість підвищити ступінь стиску до 12...14 одиниць. [9].

Оскільки метанол є рідким гідридом і містить 12,5 % водню по масі, він може бути використаний на борті автомобіля для зберігання водню з наступною конверсією у водню-містке газове паливо. Крім того, з метанолу можна одержувати синтетичний бензин [9].

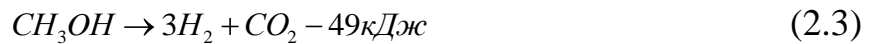
## **2.2 Дослідження процесів конверсії метанолу**

Використання метанолу для одержання газоподібного палива, збагаченого воднем, є одним з перспективних способів його застосування у ДВЗ. Розкладання (конверсія) метанолу на газоподібні компоненти дозволяє одержати додаткові переваги, характерні для газових двигунів. Конверсія метанолу протікає при температурах вище 500 ДО, атмосферному тиску в присутності каталізатора по реакції (2.1). У випадку розкладання водяного розчину метанолу одночасно протікає й реакція конверсії оксиду вуглецю водяною парою з виділенням тепла:



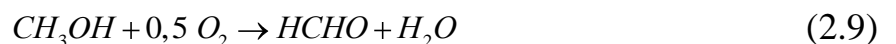
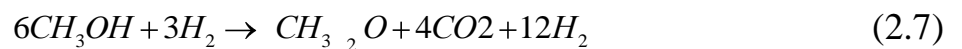
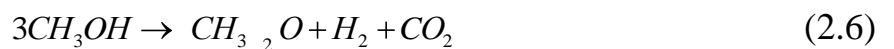
Варіюючи концентрацію метанолу у вихідному водяному розчині. Можна одержати конвертований газ із будь-яким співвідношенням 3 і  $H_2$  [7].

Загалом, виді реакції (2.1), (2.2) можна звести в одну, яка по стехіометрії має вигляд (2.3)



Для цієї реакції також потрібно тепло, але в значно менших кількостях, що важливо для реалізації конверсії на двигуні. Недоліком реакції (2.3) можна вважати наявність у конгазе діоксида вуглецю, що є баластом, що й знижує теплотворну здатність конгаза.

У якості вихідної сировини в реакціях розкладання можуть служити: метанол, метанол і вода, метанол і повітря, метанол, вода й повітря. Залежно від вихідної сировини, швидкості розкладання, типу каталізатора, температурного режиму можуть протікати наступні реакції (крім трьох, наведених вище):





Найбільший інтерес представляють реакції, що протікають із максимальним виходом у якості часткового продукту водню. Ці реакції, як правило, є ендотермічними й вимагають підведення теплоти ззовні. У цьому зв'язку доцільне використання теплоти газів, що відробили, двигуна для здійснення процесу конверсії. Однак слід мати у виді, що теплота відроблених газів, низько-потенційна, крім того, автомобільний двигун є джерелом дискретного теплового потоку відповідно до порядку роботи циліндрів і працює на нестационарних режимах, внаслідок чого міняються витрата й температура газів, що відробили, [7].

При роботі на холостому ходу температура ОГ значно нижче. Таким чином, завдання створення фактора конверсії метанолу зв'язана в першу чергу з вибором механізму конверсії, що забезпечує розкладання метанолу при припустимих температурах ОГ (порядку 420-500 ДО в зоні реакції при роботі на режимах холостого ходу й малих навантаженнях).

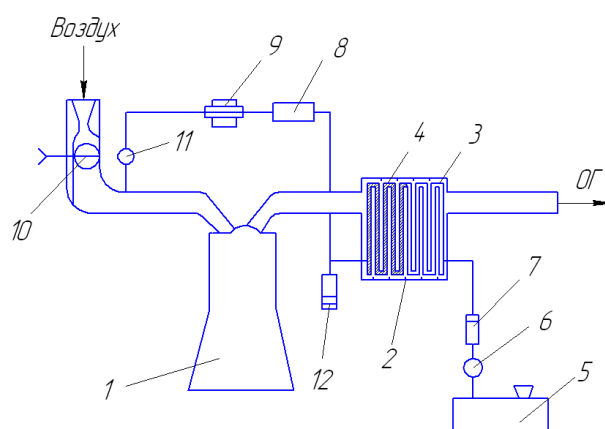
Оцінити можливість протікання реакцій у діапазоні, що цікавить нас, температур можна по їхньому термодинамічному аналізі. Якщо реакція термодинамічна та здійсненна, можна підібрати засобу для її прискорення. Термодинамічний аналіз дозволяє визначити граничні умови протікання реакцій, розрахувати рівноважний склад продуктів конверсії [7].

Методика термодинамічного аналізу містить у собі визначення можливості протікання реакцій (2.1), (2.4) - (2.9) по ізотермічному потенціалу (ухвалюючи  $p = \text{const}$ ) і розрахунки рівноважного складу продуктів конверсії.

Принципова схема системи живлення ДВЗ продуктами конверсії метанолу представлена на мал. 2.1. У випускному трубопроводі двигуна 1 установлений каталітичний реактор 2 для конверсії метанолу. У герметичному корпусі реактора розміщено два пучки теплообмінних труб, один з яких утворює випарну камеру 3, а інший, заповнений каталізатором, реакційну камеру 4. У міжтрубному просторі реактора є поперечний перегородка, що служить для збільшення швидкості руху газів, що відробили, і посилення тепловіддачі. Рідкий метанол з паливного бака 5 через фільтр 6 паливним насосом 7 подається в реактор. Продукти конверсії через охолоджувач газу 8 і редуктор тиски 9 підво-

дять до впускного трубопроводу двигуна. Потужність двигуна регулюється кількісним способом за допомогою встановлених на одній осі повітряної заслінки 10 і газового золотника 11.

Підвищений тиск у паливній системі сприяє зменшенню її габаритів і спрощенню керування її роботою. На змінних експлуатаційних режимах реактор конверсії метанолу може заціпатися невикористаними продуктами конверсії, внаслідок чого вагова витрата палива через реактор завжди відповідає витраті через двигун. У випадку аварійного росту тиску реактор повідомляється з атмосферою через редукційний клапан 12 [9].



Мал. 2.1 Принципова схема системи живлення ДВЗ продуктами конверсії метанолу

### 2.3 Розробка систем ТХРТ

Дисоціація метанолу з використанням теплоти газів, що відробили, двигунів підвищує ККД силової установки, по-перше, за рахунок регенерації теплоти ОГ, а по-друге, за рахунок поліпшення процесу згорання. Останній ефект досягається збіднінням суміші й збільшенням швидкості згорання. Двигун, що працює на продуктах термохімічної дисоціації метанолу, має токсичність ОГ суттєво меншу, чому при роботі на бензині.

Бортовий каталітичний реактор дисоціації метанолу працює в комбінації з іншими елементами системи ТХРТ: випарником метанолу, охолоджувачем продуктів дисоціації, пристроєм регулювання потоку ОГ, системою живлення газовим паливом і пусковим пристосуванням. Незважаючи на складність, сис-

тема ТХРТ дозволяє в перспективі розв'язати ряд проблем економії палива й токсичності двигунів.

Системи ТХРТ призначені для одержання воднеутримаючого газу шляхом каталітичної конверсії метанолу за рахунок регенерації теплоти газів, що відробили, двигуна. Метанол, у цьому випадку, являє собою рідкий носій водню, який зручно зберігати на автомобілі. У цей час найбільший інтерес представляє розробка елементів систем ТХРТ.

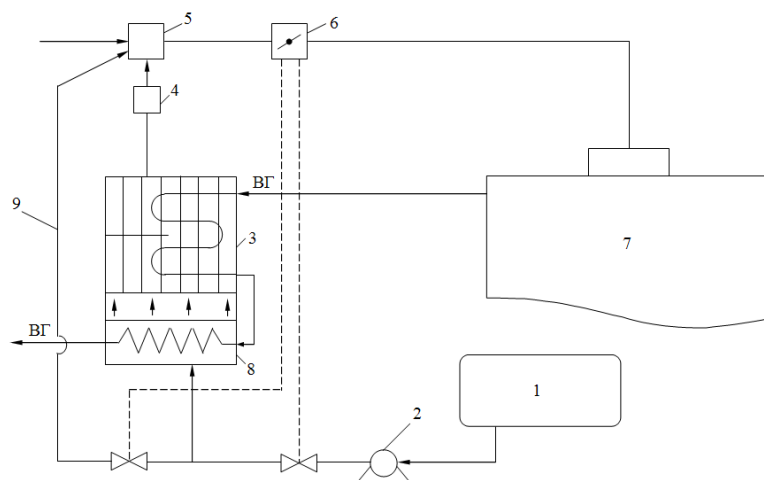
Системи можуть відрізнятися друг від друга конструктивним виконанням, наявністю або відсутністю різних елементів, що пов'язане з тем, на який ступінь конверсії розрахована система, який вид процесу передбачається здійснювати: конверсія безводного метанолу, парова або повітряна конверсія й ін.

Так, на мал.2.2 представлена система конверсії безводного спирту [13]. Спирт, з бака 1 за допомогою насоса 2 подається у випарник 8, де випаровується й надходить у реактор 3. У реакторі, у присутності каталізатора, під впливом теплоти газів, що відробили, пари спирту розкладають у воднеутримаючий газ, який, пройшовши охолоджувач 4, проохолоджується й надходить у карбюратор 5 для подачі у двигун 7.

Для регулювання подачі паливо-повітряної суміші служить дросель 6. Крім газового палива в карбюратор може подаватися й рідкий спирт, для чого передбачений паливопровід 9. Характерною рисою цієї системи є сполучення в одному корпусі випарника й реактора. Недоліком даної системи є відсутність перегрівника пар спирту, перегрівши яких відбувається безпосередньо в реакторі. Наслідком цього є зниження ступеня конверсії.

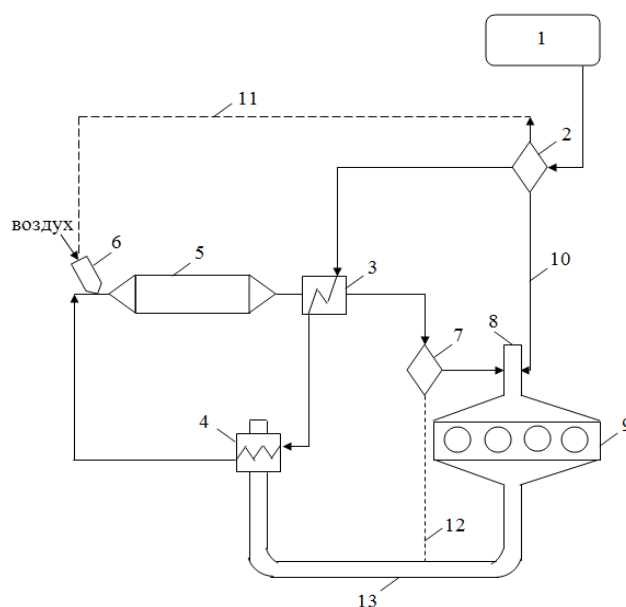
У випарнику 3, на випар спирту витрачається теплота продуктів конверсії, що виходять із реактора, у той час як для перегріву пар спирту використовується тепло газів, що відробили. Перегріті пари спирту подаються в реакційну камеру 5, куди також через спеціальний пальник 6 подається повітря й деяка кількість спирту з паливного бака, який, окислюючись у присутності повітря, підтримує в реакційній камері необхідну температуру. Отриманий воднеутримаючий газ проохолоджується у випарнику спирту 3 і через розподільник 7 надхо-

дять у впускний колектор двигуна 8. Для пуску в даній системі передбачений підігрів випарника 3 і реакційної камери 5 вихлопними газами двигуна, які підводять по трубопроводу 12 з випускної труби 13.



Мал. 2.2 Система конверсії безводного спирту для живлення двигуна

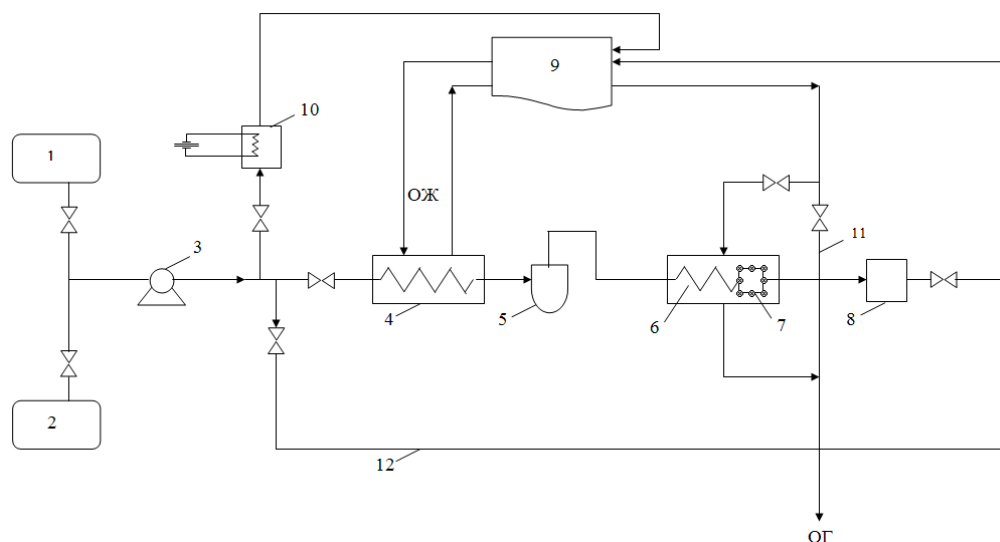
На мал.2.3 представлена система повітряної конверсії спиртового палива [14]. Тут паливо з бака 1 через розподільник 2 надходить спочатку у випарник 3, а потім у перегрівник 4.



Мал. 2.3 Пристрій для повітряної обробки спирту й подачі його у ДВЗ

З недоліків системи впливає відзначити складність конструкції, а також необхідність спалювання частини палива для підтримки необхідної температури в реакторі.

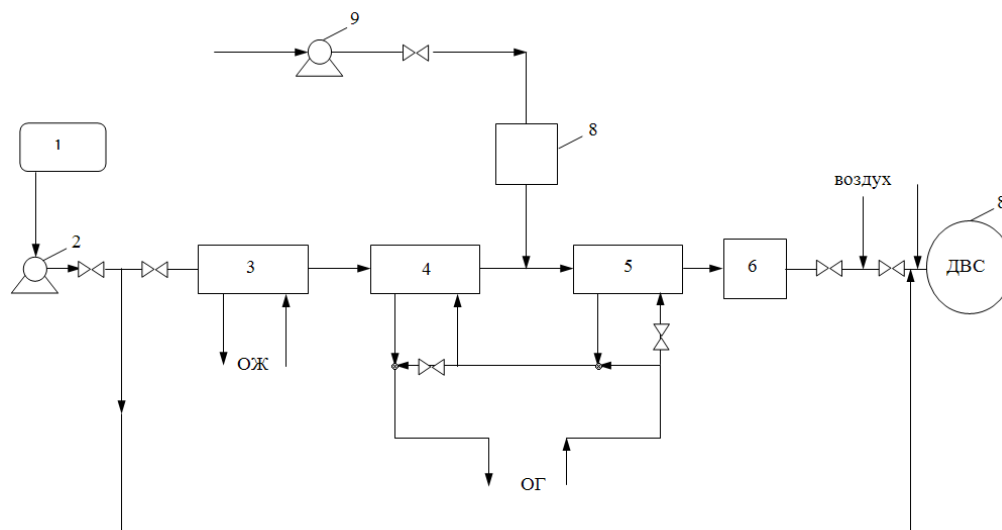
Система, представлена на мал. 2.4, суттєво відрізняється від розглянутих раніше. Тут спирт із паливного бака 1, насосом 3 подається у випарник 4, що підігрівається теплом охолодної рідини. Далі у пристрій 5 відбувається від'єднання невикпаруваного метанолу від фази пару. Пари спирту надходять у перегрівник 6 і реактор 7, виконані в одному корпусі, що й обігріваються теплом газів, що відробили, двигуна. водень, що вийшов у результаті реакції газ, що містить, збирається в накопичувальному обсязі 8, звідки в міру необхідності подається в двигун 9. Газ із накопичувача 6 може також використовуватися для запуску двигуна, хоча для цієї мети служить спеціальний пусковий реактор 10, що використовує електроенергію для розкладання спирту у воднеутримаючий газ. У системі є пропускний трубопровід 11, що дозволяє регулювати тепловий стан реактора шляхом перепуску частини газів, що відробили. Додатковий паливний бак 2 може містити бензин, який насосом 3 по каналу 12 можна подавати безпосередньо у двигун 9 при запуску. По каналу 12 можна також подавати у двигун і рідкий метанол. Недоліками системи є складність конструкції й наявність споживача електроенергії.



Мал. 2.4 Пристрій для запуску холодного двигуна на метанолі або продуктах його дисоціації

Система повітряної конверсії спиртового палива наведена на мал. 2.5 [15]. Паливо з бака 1, насосом 2 подається або у випарник 5, що нагрівається теплом охолодної рідини, або в рідкому виді на впуск двигуна 7. Після випарника, пари

палива перегріваються в перегрівнику 4 і надходять у реактор 5. Перед подачею в реактор, пари спирту змішуються з повітрям, яке подається насосом 9 через підігрівник 8.



Мал. 2.5 Пристрій для перетворення спирту й подачі його у ДВС

Це дозволяє підтримувати необхідну температуру усередині реактора за рахунок спалювання частини спиртового палива.

Воднеутримаючий газ із реактора 5 надходить у фільтр 6, де очищається від часток каталізатора й направляється у двигун 7. У даній системі передбачена можливість регулювання нагрівання перегрівника й реактора за рахунок перепуску газів, що відробили. Недоліком системи є відсутність охолоджувача продуктів конверсії перед подачею їх у двигун, а також ускладнення системи пов'язане з подачею підігрітого повітря в реактор.

Існують також системи ТХРТ із екзотермічним окисненням (спалюванням) метанол - кисневої суміші із застосуванням каталізаторів на основі благородних металів. У цьому випадку знижується необхідна температура ОГ для забезпечення процесу конверсії.

Як приклад систем, що забезпечують зниження температури процесу конверсії можна назвати системи ТХРТ із двома шабломи, у яких реалізується низькотемпературна й високотемпературна конверсія метанолу на каталізаторах двох типів.

## 2.4 Дослідження роботи двигунів із системами ТХРТ

Реакція конверсії метанолу має вигляд:



Оскільки цільовим продуктом реакції є водень ( до 67 про. % ), те становить інтерес дослідження роботи ДВЗ при добавці  $\text{H}_2$  до основного рідкого палива. Уведення 5...6% мас  $\text{H}_2$  дозволяє на 20...23% знизити  $g_e$  двигуна [17].

Випробування двигуна ЗМЗ-24 Д с добавкою водню в бензокисневу суміш показали, що ККД збільшується на 20%. Досягнуте зниження викидів токсичних компонентів з ОГ по З - в 15 раз,  $\text{No}_x$  - в 5 раз у порівнянні із серійним бензиновим автомобільним двигуном [16].

Двигун із системою ТХРТ, що працює на диссоційованому метанолі має суттєво більш високий ККД у порівнянні з аналогічним бензиновим пристроєм. При дисоціації метанолу утилізується теплота ОГ двигуна й збільшується теплотворна здатність палива на 22%.

Система ТХРТ із каталізаторами із благородних металів забезпечує розкладання метанолу в газ, що містить до 66,7%-  $\text{H}_2$ , 33,3%-З, 4%- $\text{CO}_2$ , 5%- $\text{CH}_3\text{OH}$ , 5%-  $\text{CH}_3\text{O}$ ; 1% -  $\text{CH}_4$  за обсягом [17].

Однак недоліком таких систем є їхня висока вартість.

Випробування каталізаторів на основі міді показали, що в області низьких температур ( $t_{\text{ог}} = 300^\circ\text{C}$ ) метанол розкладає на  $\text{H}_2$  і  $\text{O}_2$ . Вихід інших компонентів -  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$  Про не перевищував 10 про. % . До недоліку таких каталізаторів слід віднести те, що вони не можуть працювати в системах із частковим окисненням метанолу інжектированим повітрям. Цей недолік усувається добавкою до них невеликої кількості благородних металів. При випробуваннях газорідного двигуна з карбюратором фірми *Pierburg* і газовим змішувачем фірми *Impro* при  $\alpha=2$  викиди токсичних речовин склали:  $\text{CO}=0$ ;  $\text{CH}= 120\text{-}170\text{млн}^{-1}$ ;  $\text{NO}_x= 0,35$  г/кВт ч.

Аналіз схем систем ТХРТ, застосовуваних на різних двигунах показує, що до їхнього складу звичайно входять метанольний паливний бак, насос подачі метанолу, випарник пар, термохімічний реактор, електромагнітні запірні клапани, система регулювання подачі газу, газовий змішувач і охолоджувач газу, а також звичайна паливна система для рідкого метанолу.

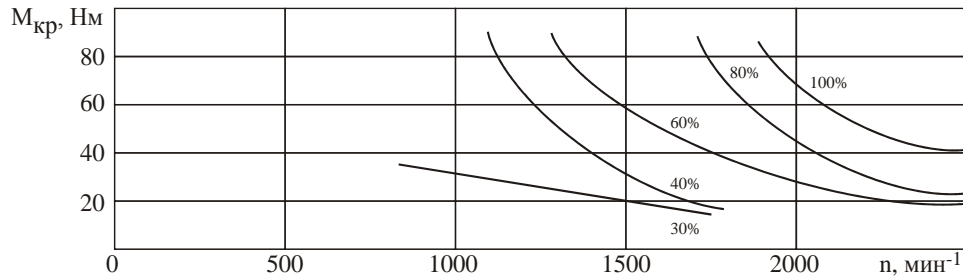
Пошуки нових видів каталізаторів, дослідження можливості використання теплової енергії вихлопу, а також розробка паливної апаратури газорідних двигунів, - основні напрямки робіт в області вдосконалення систем ТХРТ.

## **2.5 Ефективні й токсичні показники ДВЗ при роботі на продуктах конверсії**

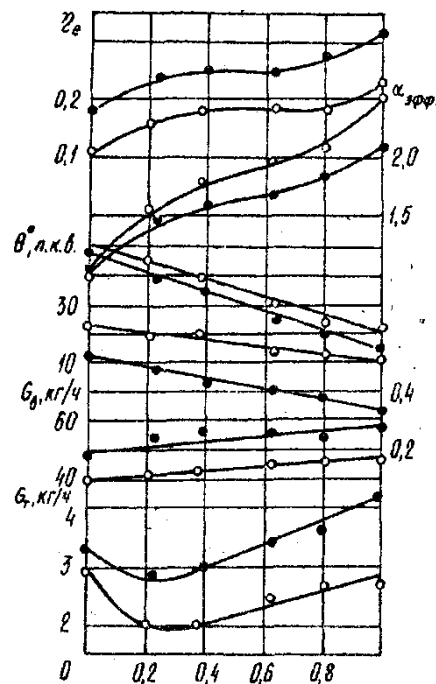
При роботі на продуктах конверсії ефективний ККД двигуна може зрости на 70 - 100 % у порівнянні з бензиновим варіантом. Більший ефект спостерігається на часткових навантаженнях. Відзначається, що на режимах високих навантажень виникає необхідність використання рідкого палива як внаслідок низької об'ємної щільності енергій газоподібних продуктів конверсії, так і внаслідок появи зворотних спалахів у впускному колекторі двигуна при збагаченні заряду продуктами конверсії до  $\alpha \leq 1,2$  [4]. Причиною зворотних спалахів є samozапалювання молекулярного водню при контакті із залишковими газами в період перекриття клапанів. Разом з тим на часткових режимах теплоти газів, що відробили, найчастіше недостатньо для повної газифікації метанолу й живлення двигуна винятково продуктами конверсії (мал. 2.6). Таким чином, двигун із системою конверсії метанолу й зовнішнім сумішоутворенням повинен мати додаткову систему живлення рідким паливом. Мал. 2.7 ілюструє отриману авторами залежність параметрів автомобільного двигуна від кількості присадки продуктів конверсії до бензоксицевої суміші на режимах малих навантажень. У стендових умовах відтворювалися режимні параметри, що мають місце при русі автомобіля зі швидкістю 30 і 50 км/ч. Питома теплота згоряння продуктів конверсії становила 23900 кДж/кг, що майже в 2 рази менше, чим у бензині, тому



теплота згоряння сумішевого палива знижувалася в міру збільшення частки продуктів конверсії. При цьому ефективний ККД двигуна й межа ефективного збідніння горючої суміші  $\alpha_{\text{эф}}$  безупинно росли, а оптимальний по крутному моменту кут випередження запалювання зменшувався. Така зміна регулювальних параметрів свідчить про прискорення процесу й підвищенні його енергетичної ефективності [4].



Мал. 2.6 Частка метанолу, дисоціюючого за рахунок теплоти віпрацьованих газів

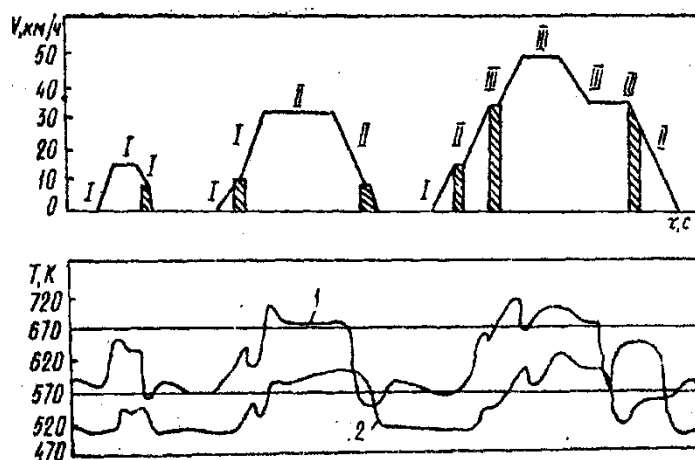


Мал. 2.7 Вплив присадки модельного газу на параметри двигуна

Характер зміни загальної витрати сумішного палива показує, що найбільший відносний ефект дає заміна 30-40 % по масі бензину продуктами конверсії, коли сумарна масова витрата палива знижується, незважаючи на зменшення, як уже вказувалося, його теплоти згоряння.

## 2.6 Аналіз теплових схем установок конверсії метанолу

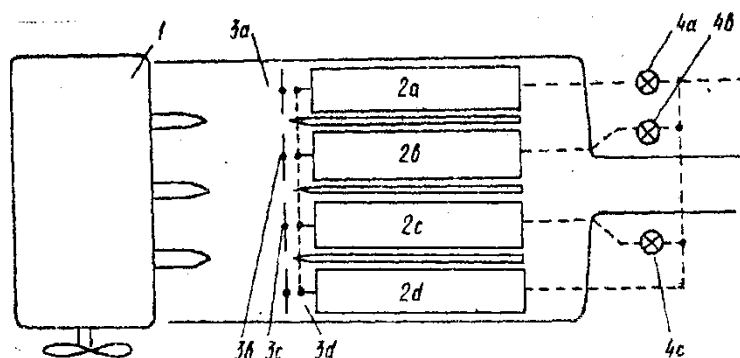
Низька температура газів, що відробили, характерна для автомобільного двигуна в умовах міської експлуатації (мал. 2.8), обумовлює невеликий температурний напір у реакторі. Істотна втрата тепла з газів, що відробили, у випускному трубопроводі внаслідок теплопередачі, що приводить до зниженні їх температури приблизно на 100 До на відстані 1 м, вимагає розміщення реактора поруч із двигуном у моторному відділенні автомобіля, що накладає обмеження на його габарити. Звідси випливає основна проблема при створенні автомобільних реакторів - проблема підведення необхідної кількості теплоти в умовах досить твердих обмежень по температурному напору й габаритам. Інша характерна проблема - забезпечення ізотермічного каталітичного шару в межах 20 - 30, яка необхідна для забезпечення прийнятної продуктивності каталізатора й для попередження локальних перегрівів, що ведуть до завуглеоживанню каталізатора або його термічному руйнуванню.



Мал. 2.8 Температура газів, що відробили, у випускному трубопроводі автомобіля при випробуваннях по їздовому циклу ОСТ 37.061.054-74 (робітник обсяг двигуна  $V_h=2,45$  л): 1 - температура в площині рознімання головки двигуна - випускний колектор; 2 - температура на відстані 1 м від двигуна

Розглянемо ряд конструкцій автомобільних реакторів. Оскільки значні втрати теплоти з газів, що відробили, особливо периферійних циліндрів, мають місце вже в колекторній системі випуску, у ряді конструкцій виконане паралельне секціонування реактора, тобто поділ його відповідно до числа циліндрів на трохи паралельно працюючих малих реакторів (мал.2.9). Це конструкторське

приймання забезпечує мінімальну й однакову для всіх циліндрів довжину передреакторної ділянки випускного патрубка.

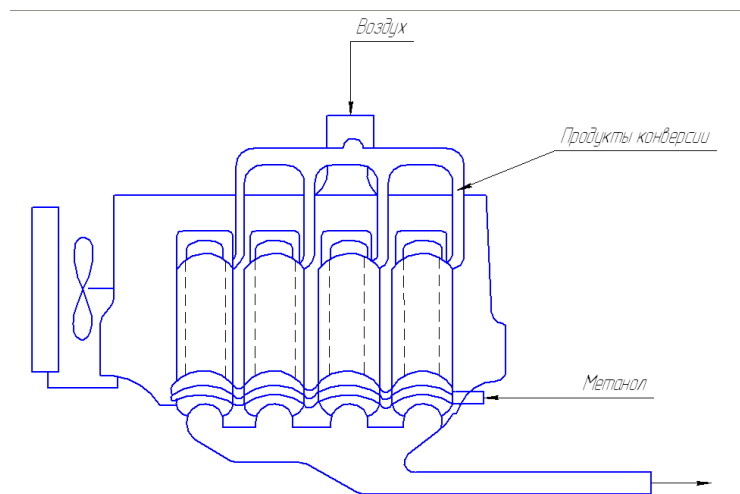


Мал. 2.9 Автомобільний реактор з паралельним секціонуванням реакційних камер: 2a - 2d - реакційні камери; 3a - 3d - дросельні заслінки; 4a - 4d - клапани керування подачі метанолу

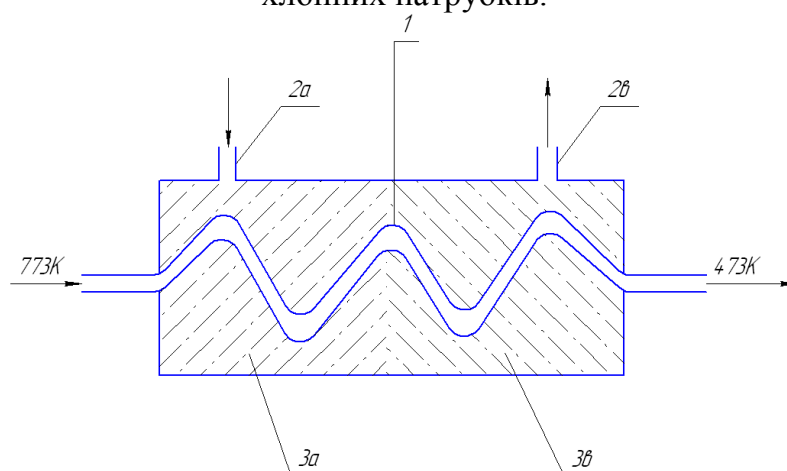
У випускних патрубках встановлені дросельні заслінки, що управляють потоками газів, що відробили, відповідно до режиму роботи двигуна. На режимі малих навантажень і низьких температур, що відробили газами всіх циліндрів обігривається тільки один з малих реакторів, а в міру збільшення навантаження включаються в роботу інші.

В іншому варіанті конструкції реактора, зображеному на мал. 2.10 випускні канали окремих циліндрів не повідомляються між собою, що дозволяє запобігти, втраті імпульсу газів, що випускаються із циліндрів, і сприяти збільшенню коефіцієнта тепловіддачі. Відмінною рисою розглянутого варіанта конструкції є розміщення каталізатора навколо випускного патрубка, що зменшує теплові втрати з газів, що відробили, і збільшує температурний напір до каталізатора.

Недолік обох конструкцій полягає в яскраво вираженому вхідному ефекті - перегріві шарів каталізатора, що лежать першими по струму газів, що відробили. Негативний вплив "вхідного ефекту" можна зменшити шляхом поздовжнього секціонування реакційної камери, як це показано на мал. 2.11. Перша по струму газів, що відробили, секція заповнена високотемпературним каталізатором, а наступна - низькотемпературним. Однак цьому розв'язку властиві два серйозні



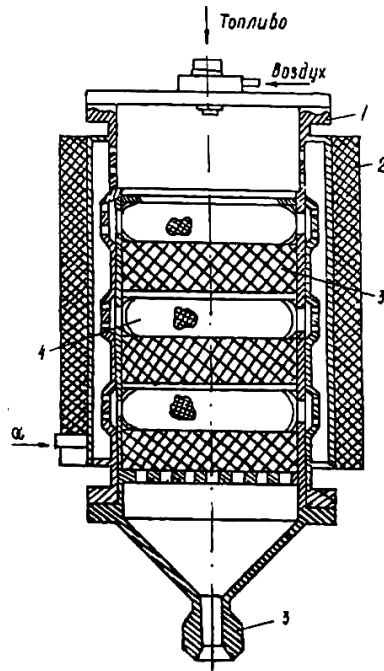
Мал. 2.10 Автомобільний реактор з розміщенням каталізаторного шару навколо вихлопних патрубків.



Мал. 2.11 Реакційна камера з поздовжнім секціонуванням каталізаторного шару: 1 - випускний патрубок ДВЗ; 2а - вхід метанолу; 2в - вихід продуктів конверсії; 3а - високотемпературний каталізатор; 3в - низькотемпературний каталізатор

недоліку: складності в експлуатації, пов'язані з неоднаковими строками регенерації або заміни каталізаторів; вимикання з роботи високотемпературного каталізаторного шару на режимах малих навантажень і низьких температур, що відробили газів.

Більш доцільним способом термічного захисту каталізатора, до того ж підвищувальним його продуктивність в умовах змінних навантажень, є використання теплових акумуляторів. Автомобільний реактор, що містить стовпчик з пакетів каталізатора, які чергуються з пакетами теплоакумулюючих гранул, виконаних з високо теплопровідного матеріалу, показаний на мал. 2.12.



1 - корпус; 2 - теплоізоляція; 3 - каталізатор; 4 - тепловий акумулятор.

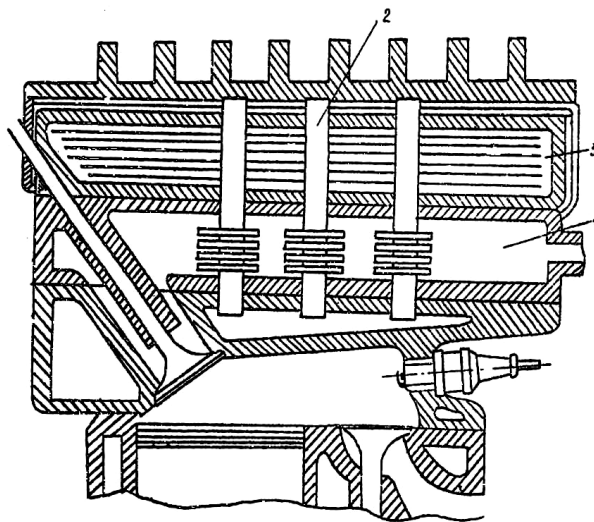
Мал. 2.12 Автомобільний реактор з тепловими акумуляторами

Розвинена поверхня теплових акумуляторів забезпечує високу інтенсивність теплообміну з, що відробили газами й згладжування температурних коливань. Досягається це, однак, ціною істотного погіршення габаритно-масових характеристик реактора.

Більшими можливостями для інтенсифікації, теплообміну й згладжування температурних пульсацій, що відробили газів у широкому інтервалі навантажень мають теплові труби, або інакше труби Перкінса. У найпростішому варіанті теплова труба являє собою металевий гладкостінний герметично закритий циліндр, установлений вертикально або похило й приблизно на 10% заповнений рідким теплоносієм, яким може бути звичайна вода. Для переносу тепла використовується явище фазового переходу рідина - пар при нагріванні теплоносія в нижнього вхідного для тепла кінця труби й зворотного переходу пара - рідина на верхньому вихідному кінці. Теплова труба має ряд унікальних властивостей: заданої й строго постійною температурою вхідного кінця, що не залежить від температури джерела тепла; малим температурним перепадом і надзвичайно високою теплопровідністю між вхідним, і вихідним кінцями.

Конструкція установки, що реалізує описаний принцип теплообміну, показана на мал. 2.13. У головці циліндрів двигуна розміщена спеціальна вихлоп-

на камера 1, у яку занурені оребренні вхідні кінці теплових труб 2. На вихлопній камері встановлений каталітичний насадок 3 реактора конверсії, у якому розміщені вихідні кінці теплових труб. Тепловий потік з газів, що відробили, до каталізатора рухається переважно по трубах, оскільки тепловий опір тут значний менше, чому на поверхні контактування вихлопної камери з каталітичним насадкам. Відзначимо, що теплові труби одночасно є багатоемними тепловими акумуляторами. Слабким місцем розглянутого пристрою з'явилася недостатня інтенсивність тепловіддачі від газів, що відробили, до теплових труб, що стала причиною появи ускладнюючого конструкцію елемента - вихлопної камери. У цьому зв'язку значний інтерес викликає можливість збільшення коефіцієнта тепловіддачі від газів, що відробили, способом контактного теплообміну в киплячому шарі дисперсного теплоносія. Для псевдокиплячого шару твердих часток, як і для теплової труби, характерні малий перепад температур між входом і виходом теплового потоку й акумулювання тепла.

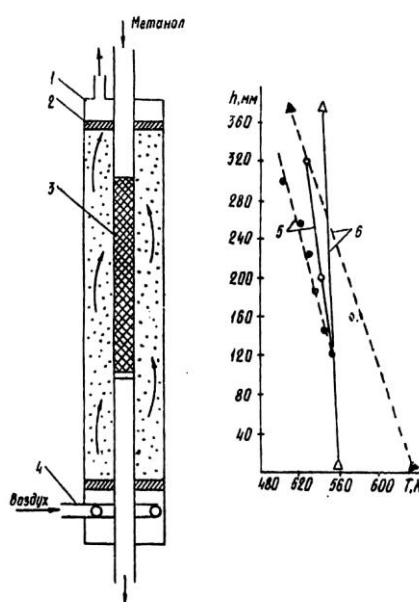


Мал. 2.13 Автомобільний реактор з тепловими трубами

Авторами виконане експериментальне дослідження контактного теплообміну на лабораторній установці, що моделює умови роботи автомобільного реактора. Установка містила теплообмінник типу труба в трубі, схематично зображений на мал. 2.14.

У внутрішній трубці діаметром 20 мм і довжиною 370 мм містився каталітичний насадок. Гаряче повітря для обігріву підводив у нижню частину між-

рубного простору, а попередньо випаруваний метанол - відповідно до принципу протитечії - у верхню частину внутрішньої труби було виконано дві серії експериментів з термометруванням міжтрубного простору й каталізаторного шару. У першій серії теплопідвід здійснювався тільки гарячим повітрям, у другий - гарячим повітрям у киплячому шарі електрокорунду фракції 200 мкм. В обох серіях підтримувалися незмінними об'ємна швидкість метанолу на каталізаторі  $450...490^{-1}$ , максимальна температура каталізатора 550 ДО и температура гарячого повітря на вході в теплообмінник 870...900 ДО. У першій серії витрата гарячого повітря становила  $0,5 \text{ м}^3 / \text{год}$ , у другий його треба було зменшити на 20 %, щоб зберегти незмінної максимальну температуру каталізатора. Результати термометрування показують (див. мал. 2.14), що при підведенні тепла киплячим шаром дисперсного теплоносія градієнт температури по висоті міжтрубного простору суттєво нижче, чим у випадку підведення тепла потоком повітря. Зменшення перепаду температури по висоті шару каталізатора від 50 До до 25 До дозволило **побільшати** відносну продуктивність реактора в 1, 6 рази.

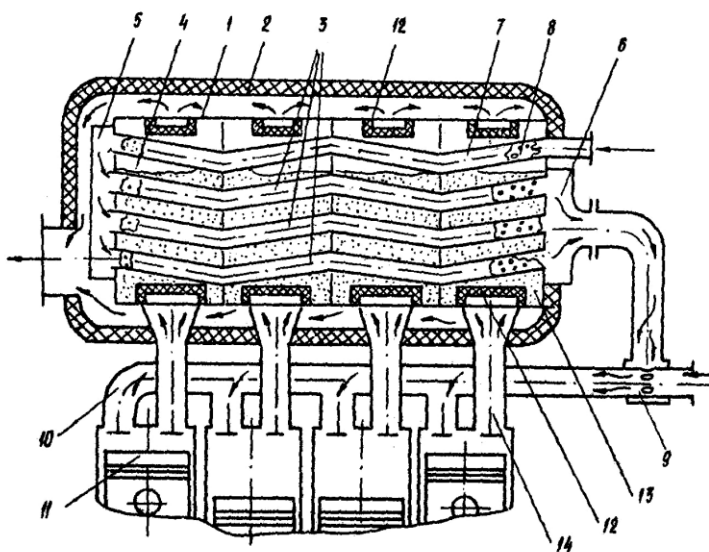


1 - корпус; 2 - сепаратори; 3 - каталізатор; 4 - тороїдальний розподільник; 5 - температурний профіль каталізаторного шару.

Мал. 2.14 Лабораторний реактор з підведенням теплоти в киплячому шарі інертного теплоносія.

Конструкція трубчастого автомобільного реактора, що реалізує контактний спосіб теплообміну, зображена на мал. 2.15. Реактор містить корпус 1, по-

міщений у теплоізолюючу оболонку 2 із зазором, що утворюють навколо корпусу кільцеву порожнину для проходу газів, що відробили. Усередині корпусу 1 розташовані теплообмінні труби 3, заповнені каталізатором 4 і утворюючі реакційну камеру. Труби 3 одним кінцем повідомляються із вхідним колектором 5 реактора, а іншим - з його вихідним колектором 6. Вхідний колектор через випарну трубу 7, заповнену пористим високотеплопровідним матеріалом 8, приєднується до паливного насоса. Вихідний колектор реактора через паливокисневий змішувач 9 повідомляється із впускними каналами 10 робочих циліндрів 11 двигуна, міжтрубний простір корпусу 1 розділене за допомогою перегородок на секції по числу циліндрів двигуна. Кожна секція постачена отворами для впуску газів, що відробили. В отворах установлені сепаратори 12 для втримання дисперсного матеріалу 13, що частково заповнює секції. До впускних отворів секцій приєднані канали 14 для випуску газів, що відробили, із циліндрів двигуна.

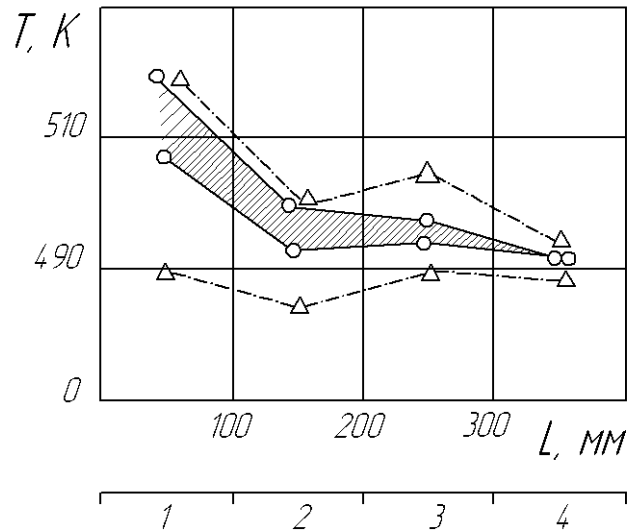


Мал. 2.11 Автомобільний реактор з контактним теплообмінником

Температурні характеристики експериментального зразка описаного реактора, що мав обсяг реакційної камери 2 л, представлені на мал. 2.16. Реактор був установлений на автомобілі з робочим обсягом двигуна 2,45 л. Випробування проводилися на роликовому стенді в режимі усталеного руху автомобіля зі швидкістю 15 км/ч. Відмінність між температурою теплоносія, що гріє, по секціях реактора викликана циліндровою нерівномірністю роботи двигуна й,

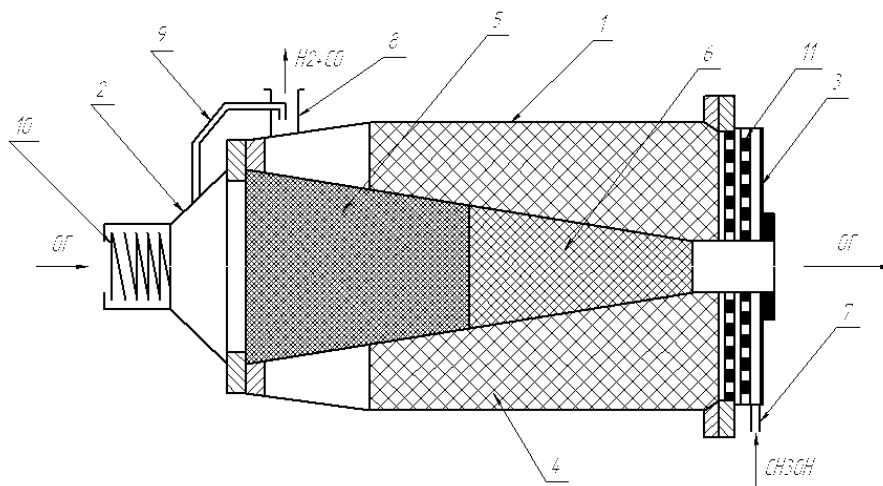


почасти, умовами тепловіддачі. Перепад температур каталізатора в кожній із секцій не перевищував 25 ДО (заштрихована зона на мал. 2.16). Продуктивність реактора на цьому режимі склала 1,63 кг/год, що відповідає 60 % потребі двигуна в паливі.



Мал. 2.16 Профілі температур по каталізатору й киплячому шару теплоносія

Конструкція сполученого з нейтралізатором автомобільного реактора, що реалізує регенерацію тепла від опалу продуктів неповного згоряння палива, зображена на мал. 2.17.



Мал. 2.17 Сполучений автомобільний реактор конверсії метанолу – АРКМс - 1:

На один із блоків нанесений каталізатор конверсії метанолу, а на іншій - каталізатор окиснення продуктів неповного згоряння палива. Пористі блоки

відділені й мають можливість теплообміну між собою. Це дає можливість компенсації температур каталізаторів конверсії метанолу й окиснення продуктів неповного згоряння палива.

Пористий блок з каталізатором конверсії метанолу виконаний у вигляді циліндра із центральним отвором у вигляді конуса. Через цей отвір по вбудованому в ньому пористому блоку каталізатора окиснення продуктів неповного згоряння про ходять відпрацьовані гази, віддають своє тепло для реакції конверсії метанолу.

Пористий блок з каталізатором окиснення продуктів неповного згоряння палива виконаний у вигляді усіченого конуса, розташованого більшою підставою назустріч потоку газів, що відробили, і має неоднакову пористість при звуженні конуса. У такий спосіб знижується гідравлічний опір відпрацьованим газам.

У порожнині нижньої кришки реактора встановлене не менш двох перфорованих пластин, отвору. Це допомагає рівномірному розподілу реагенту в пористому блоці каталізатора конверсії метанолу.

У вихідному патрубку конверсії метанолу виведений приймач безпечного каналу для перепускання відпрацьованих газів до продуктів конверсії. Коли кількість водню в продуктах конверсії дійде до того рівня, при якому їх згоряння у двигуні приводить до детонаційних процесів, по каналу подаються відпрацьовані гази, що знижують концентрацію водню в паливі.

Тепловий ефект реакції конверсії метанолу становить 90 кДж/ моль:



При недоліку тепла відпрацьованих газів для конверсії метанолу при роботі двигуна на часткових режимах шляхом перепуску частини продуктів конверсії, що містять ІЗ, на блок з каталізатора окиснення продуктів неповного згоряння палива, можливий розігрів блоку конверсії метанолу до рівня, необхідного для проходження реакції з максимально можливим ступенем конверсії метанолу.

Представлений на малюнку 2.17 автомобільний реактор конверсії метанолу складається з корпусу 1, вхідного патрубку 2 відпрацьованих газів, кришки 3, пористого блоку 4 каталізатора конверсії метанолу, пористих блоків 5 і 6 каталізатора окиснення продуктів неповного згоряння палива різної пористості, вхідного патрубку 7 випарювання метанолу, вихідного патрубку 8 продуктів конверсії, пропускного каналу 9 газів, що відробили, до продуктів конверсії, вогнегасника 10, перфорованих пластин 11.

Пристрій працює в такий спосіб.

Випаруваний метанол через патрубок 7 надходить у порожнину кришки 3. Вихроподібний рух пароподібного метанолу разом із двома перфорованими пластинами 11, допомагає рівномірному розподілу реагенту в пористому блоці 4 каталізатора конверсії метанолу.

Нагрівання пористого блоку 4 до температур, необхідних для проходження реакції конверсії метанолу здійснюється шляхом теплопередачі від пористих блоків 5 і 6 каталізатора окиснення продуктів неповного згоряння палива за рахунок проходження через них відпрацьованих газів і теплового ефекту реакції окиснення. Крім того, ендотермічна реакція конверсії метанолу допомагає захисту блоків 5 і 6 від занадто значного нагрівання й руйнування.

Пористі блоки 5 і 6 каталізатора окиснення продуктів неповного згоряння палива зроблене у вигляді усіченого конуса, більша основа якого розташована назустріч відпрацьованим газам. Пористість блоків 5 і 6 зроблена так, щоб зберегти незмінними їхній гідравлічний опір відпрацьованим газам при зміні площі перетину блоків.

Продукти конверсії метанолу залишають реактор з патрубку 8, у якому встановлена трубка пропускного каналу 9 деякої частини продуктів конверсії, що містять CO, до каталізатора окиснення при недоліку тепла в реакторі.

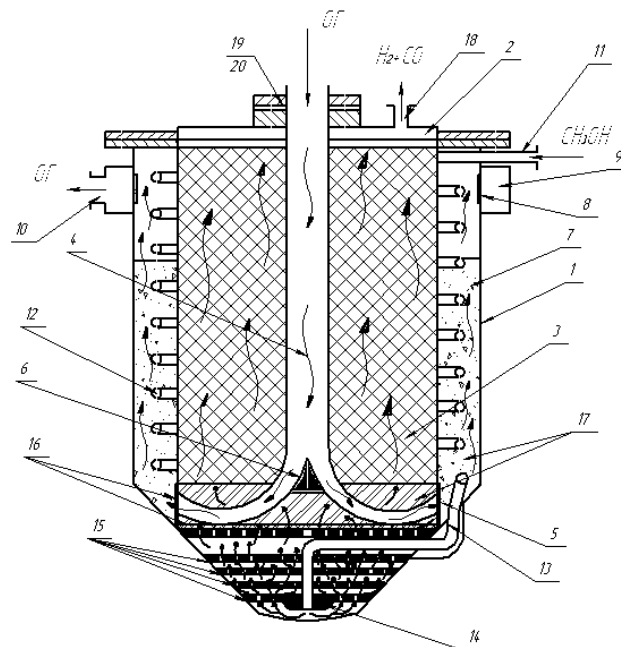
Коли кількість водню в продуктах конверсії дійде до того рівня, при якому їх згоряння у двигуні приводить до детонаційних процесів, по трубі 9 подаються гази, що відробили, знижують концентрацію водню в паливі.

Напрямок потоку по пропускному патрубкові регулюється зміною тиску випаруваного метанолу, який іде в реактор.

Надходження у відроблені газу водню допомагає спалюванню палива й масла, що виносяться із циліндра й обов'язково осідаючого на пористому носії каталізатора окиснення.

Для недопущення зворотних спалахів у вхідному патрубку відпрацьованих газів установлений вогнегасник 10.

Конструкція сполученого з випарником автомобільного реактора, що реалізує регенерацію тепла з використанням киплячого кулі з матеріалу акумулюючого тепло, зображена на мал. 2.18.



Мал. 2.18 Автомобільний реактор конверсії метанолу із вбудованим випарником у киплячому шарі

Представлений автомобільний реактор конверсії метанолу складається з корпусу 1, кришки 2, каталізаторного пористого блоку 3, трубопроводу 4 і галузей 5, обтічника 6, теплової сорочки 7, вікон 8 і кільцевого випускного колектора 9, вихідного патрубка 10 відпрацьованих газів, патрубка підведення метанолу 11, зміювика 12 випарника, трубопроводу 13 метанолу, лемніскати 14, набору перфорованих пластин 15, сітки 16 теплоакumuлюючого матеріалу 17, патрубка 18 відбору продуктів конверсії метанолу, фланця 19, ущільнення 20.

Автомобільний реактор конверсії метанолу працює в такий спосіб.

Метанол через патрубок 11 надходить у змійовик 12 випарника, де випаровується за рахунок тепла відпрацьованих газів, причому виникаючі у витках спіралі змійовика відцентрові сили викликають турбулізацію потоку метанолу, що проходить через них, з утвором вторинних вихрів, обумовлює підвищення теплопередачі до палива від стінок трубки й зрив паливної плівки із внутрішньої поверхні трубки.

Випарів, метанол зі змійовика через трубопровід 13, який має лемніскату 14 надходить у нижню частину реактора, де після повороту потоку на 180 градусів пари метанолу проходять через набір перфорованих пластин 15 з отворами. Каталізаторний блок 3 опирається на сипучий матеріал 17, що акумулює тепло. Пари метанолу, проходячи через пори каталізаторного блоку, дисоціюють на газ, що містить водень, і він через патрубок 18 відбору продуктів конверсії метанолу надходить до двигуна. Відробивши, гази двигуна, проходять через центральний трубопровід 4 і галузей 5, надходять у кільцеву порожнину теплової сорочки 7, обігриваючи змійовик 12 випарника й через вікна 8 корпусу 1 у кільцевий випускний колектор 9 і з нього через патрубок 10 - в атмосферу. Для зниження гідравлічного опору потоку газів, що відробили, у входу із центрального трубопроводу 4 до галузей 5 установлений конусний обтічник 6. Теплова сорочка заповнена мінімум на три чверті пористим матеріалом 17, що акумулюють тепло, з можливістю створення киплячого шару.

Герметичність реакційної камери забезпечується ущільненням 20, розташованим між кришкою 2 реактора й фланцем 19. Ущільнення 20 виконане у вигляді тригранного в плані кільця з металу, коефіцієнт лінійного розширення якого більше, чим у матеріалі кришки 2 і фланця 19. Контакт ущільнення 20 із вхідним патрубком трубопроводу 4 газів, що відробили, сприяє швидкому розігріву ущільнення й створенню герметичності.

На основі останніх двох конструкцій реакторів розроблена конструкція сполученого з випарником автомобільного реактора, що реалізує регенерацію тепла від випалювання продуктів неповного згоряння палива, зображена на

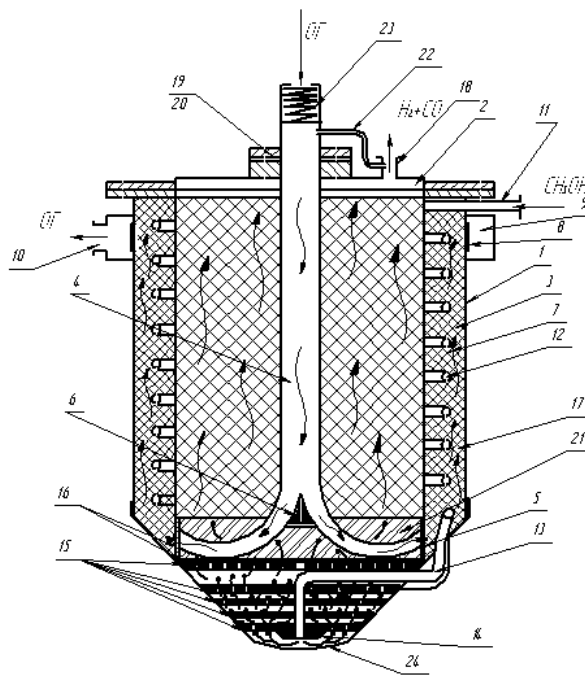
мал. 2.19. Представлений автомобільний реактор конверсії метанолу складається з корпусу 1, кришки 2, каталізаторного пористого блоку випалювання ОГ 3, трубопроводу 4 і галузей 5, обтічника 6, вікон 8 і кільцевого випускного колектора 9, вихідного патрубку 10 відпрацьованих газів, патрубка підведення метанолу 11, зміювика 12 випарника, трубопроводу 13 метанолу, лемніскати 14, набору перфорованих пластин 15, сітки 16, каталізаторного блоку 17, патрубка 18 відбору продуктів конверсії метанолу, фланця 19, ущільнення 20, сипучий матеріал акумулюючий тепло 21, байпасний канал 22, вогнегасник 23, нижня кришка 24. Автомобільний реактор конверсії метанолу працює в такий спосіб. Метанол через патрубок 11 надходить у зміювик 12 випарника, де випаровується за рахунок тепла відпрацьованих газів і тепла від випалювання продуктів неповного згоряння палива, причому виникаючі у витках спіралі зміювика відцентрові сили викликають турбулізацію потоку метанолу, що проходить через них, з утвором вторинних вихрів, обумовлює підвищення теплопередачі до палива від стінок трубки й зрив паливної плівки із внутрішньої поверхні трубки.

Випарів, метанол зі зміювика через трубопровід 13, який має лемніскату 14 надходить у нижню частину реактора, де після повороту потоку на 180 градусів пари метанолу проходять через набір перфорованих пластин 15 з отворами. Каталізаторний блок 17 опирається на сипучий матеріал 21, що акумулює тепло. Пари метанолу, проходячи через пори каталізаторного блоку, дисоціюють на газ, що містить водень, і він через патрубок 18 відбору продуктів конверсії метанолу надходить до двигуна.

Відробивши, гази двигуна, проходять через центральний трубопровід 4 і галузей 5, надходять у кільцеву порожнину нейтралізатора 7, де випалюється, обігриваючи зміювик 12 випарника й через вікна 8 корпусу 1 у кільцевий випускний колектор 9 і з нього через патрубок 10 - в атмосферу. Для зниження гідравлічного опору потоку газів, що відробили, у входу із центрального трубопроводу 4 до галузей 5 установлений конусний обтічник 6.

Герметичність реакційної камери забезпечується ущільненням 20, розташованим між кришкою 2 реактора й фланцем 19. Ущільнення 20 виконане у ви-

гляді тригранного в плані кільця з металу, коефіцієнт лінійного розширення яко-го більше, чим у матеріалу кришки 2 і фланця 19. Контакт ущільнення 20 із вход-ним патрубком трубопроводу 4 газів, що відробили, сприяє швидкому розігріву ущільнення й створенню герметичності. Продукти конверсії метанолу залиша-ють реактор з патрубка 18, у якому встановлена трубка пропускнуго каналу 22 деякої частини продуктів конверсії, що містять  $\text{H}_2$ , до каталізатора окиснення при недоліку тепла в реакторі. Коли кількість водню в продуктах конверсії дійде до того рівня, при якому їх згоряння у двигуні приводить до детонаційних процесів, по трубі 22 подаються газы, що відробили, знижують концентрацію водню в па-ливі. Напрямок потоку по пропускнуго патрубкові регулюється зміною тиску випаруваного метанолу, який іде в реактор. Надходження у відроблені газы вод-ню допомагає спалюванню палива й масла, що виноситься із циліндра й обов'яз-ково осідаючого на пористому носії каталізатора окиснення ОГ.



Мал. 2.19 Автомобільний реактор конверсії метанолу сполучений із вбудованим у нейтралізатор випарником – АРКМс - 2

## 2.7 Висновок до розділу 2

Створення економічного екологічно чистого водневого двигуна, що пра-цює на продуктах конверсії метанолу, з термохімічною системою регенерації

тепла газів, що відробили, є технічно розв'язуваною завданням. Успіх даної розробки великою мірою буде залежати від добору ефективних каталізаторів з підвищеною об'ємною швидкістю й зниженою робочою температурою, а також від узгодження характеристик реактора конверсії метанолу й двигуна, особливо на режимах холодного пуску, прискорення, гальмування й зупинки.

Розглянуті дослідження ряду авторів доводять, що використання продуктів конверсії метанолу є ефективним засобом зниження токсичних викидів ОГ ДВЗ. Виконаний аналіз робіт з термохімічної регенерації теплоти ОГ показав, що створення ТХРТ є технічно розв'язною завданням, однак необхідно враховувати ряд різних обмежень і проблем:

- перехід повністю на газоподібне паливо пов'язаний із втратою потужності при зовнішньому сумішоутворенні;

- рівень мінімальних робочих температур існуючих каталізаторів обмежено 300, що не дозволяє працювати системі на режимах холостого ходу й часткових швидкісних режимах двигуна без підігріву або спеціального пальника;

- необхідне регулювання складу суміші в діапазоні бідних сумішей і кута випередження запалювання для забезпечення мінімуму викидів ОГ, нежорсткого згоряння й відсутності зворотних спалахів.

До теперішнього часу не досліджена детонаційна стійкість продуктів конверсії метанолу й не визначений оптимальний ступінь конверсії метанолу при роботі двигуна на режимах міського їздового циклу. Не вирішені також проблеми холодного пуску метанольного двигуна із системою ТХРТ. У теоретичних дослідженнях недостатньо освітлене питання розрахунків двигуна, що працює по газорідному циклу.



# 3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКІВ НЕОБХІДНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РЕАКТОРА ПРИ РОБОТІ ДВИГУНА ПО ЇЗДОВОМУ ЦИКЛУ

## 3.1 Опис математичної моделі

При розробці автомобільного реактора конверсії метанолу необхідно знати його продуктивність по конгазу. Ці дані необхідні для визначення кількості каталізатора, габаритів реактора.

Для визначення необхідної продуктивності реактора необхідно визначити годинну витрату палива при русі автомобіля з різною швидкістю. Годинна витрата можна визначити по формулі:

$$G_T = g_e \cdot N_e = \frac{0,03 \cdot V_h \cdot n \cdot P_e}{H_H \cdot \eta_e}, \quad (3.1)$$

де  $g_e$  – шукана витрата палива, кг/квт·рік,

$N_e$  – ефективна потужність двигуна, квт,

$P_e$  – середній ефективний тиск, кпа,

$H_H$  – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг,

$\eta_e$  – ефективний ККД,

$V_h$  – робочий обсяг циліндрів двигуна, л,

$n$  – частота обертання колінчатого вала, хв<sup>-1</sup>.

Частота обертання колінчатого вала визначається по формулі:

$$n = \frac{2,65 \cdot i_0 \cdot i_k \cdot V_a}{r_k} \quad (3.2)$$

де  $i_0, i_k$  – передаточні числа головної передачі й коробки передач відповідно;

$V_a$  – швидкість автомобіля, км/год;

$r_k$  – радіус кочення колеса, м.

Радіус кочення для радіальних шин:

$$r_k = 0,52 \cdot d_{uu} + 0,93 \cdot B_{uu} \quad (3.3)$$

де  $d_{uu}$  – діаметр обода, м,

$B_{uu}$  – висота профілю шини, м.

Ефективний ККД двигуна можна виразити в такий спосіб:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = \frac{P_e \cdot \eta_i}{P_e + P_m} \quad (3.4)$$

де  $P_m$  – середній тиск механічних втрат у двигуні, кПа;

$\eta_m$  – механічний ККД двигуна;

$P_e$  – середній ефективний тиск, кПа.

Індикаторний ККД двигуна можна приблизно обчислити по наступних формулах:

$$\text{при } N < 80\% \quad \eta_i = 0,256 + 0,0012N,$$

$$\text{при } N > 80\% \quad \eta_i = 0,63 - 0,00343N,$$

$$N = \frac{100 \cdot N_e}{N_{\max} \cdot \eta_{mp}} \quad (3.5)$$

де  $N$  – відсоток використання потужності, %;

$N_e$  – потужність, що надходить від двигуна до трансмісії, кВт;

$N_{\max}$  – максимальна ефективна потужність двигуна, кВт;

$\eta_{mp}$  – ККД трансмісії.

Потужність на ведучих колесах у кВт рівна:

$$N_e \cdot \eta_{mp} = \frac{V_h \cdot P_e \cdot n \cdot \eta_{mp}}{120} = G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_a^2 \pm 0,1 \cdot \beta \cdot G_a \cdot V_a \cdot \frac{V_a}{3,6 \cdot 10^3} \quad (3.6)$$

де  $V_h$  – робітник обсяг двигуна, л;

$G_a$  – повна маса автомобіля, Н;

$\psi$  - сумарний опір дороги, Н·з<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$k \cdot F$  – фактор обтічності автомобіля, м<sup>2</sup>;

$V_a$  – прискорення автомобіля, м/с<sup>2</sup>;

$\beta$  - коефіцієнт, що враховує вплив обертових мас,

$$\beta = 1 + a_k \cdot i_k^2, \quad (3.7)$$

де  $a_k$  - постійна для даного автомобіля величина ( для легкових автомобілів  $a_k = 0,03-0,05$ ).

Фактор обтічності містить у собі діагональний перетин автомобіля  $F$  і коефіцієнт  $k$ .

$$F = 0,8 \cdot B_a \cdot H_a, \text{ м}^2, \quad (3.8)$$

де  $B_a$  і  $H_a$  – відповідно ширина колії й габаритна висота автомобіля, м.

$$k = \frac{\rho \cdot C_x}{2}, \frac{H \cdot c^2}{\text{м}^4}, \quad (3.9)$$

де  $\rho$  - масова щільність повітря при даній температурі й тиску;

$C_x$  – безрозмірний коефіцієнт аеродинамічного опору.

Середній тиск механічних втрат можна визначити по формулі:

$$P_n = a + 0,0033 \cdot b \cdot S_n \cdot n, \text{ кПа}, \quad (3.10)$$

де  $S_n$  - хід поршня, м,

$a$  і  $b$  – емпіричні коефіцієнти, які для карбюраторних двигунів відповідно рівні 45 й 13 кПа·з·м<sup>-1</sup>.

Середній ефективний тиск можна визначити з рівняння потужності на ведучих колесах:

$$P_e = \frac{120 \cdot r_k \cdot G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_a^2 \pm 0,1 \cdot \beta \cdot G_a \cdot V_a}{2,65 \cdot V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_{mp} \cdot 3,6 \cdot 10^3}, \text{кПа} \quad (3.11)$$

Підставляючи у вихідну формулу отримані залежності, знаходимо годинну витрату палива:

$$G_T = \frac{0,03 \cdot V_h \cdot n}{H_n \cdot \eta_i} \left( a + 0,033 \cdot b \cdot S_n \cdot n + \frac{120 \cdot V_a}{V_h \cdot n \cdot \eta_{mp} \cdot 3,6 \cdot 10^3} \times \right. \\ \left. \times G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_a^2 \pm 0,1 \cdot \beta \cdot G_a \cdot V_a \right), \text{кг/ч.} \quad (3.12)$$

Необхідна продуктивність реактора конверсії метанолу по конгазу була отримана з умови рівності енергетичних витрат:

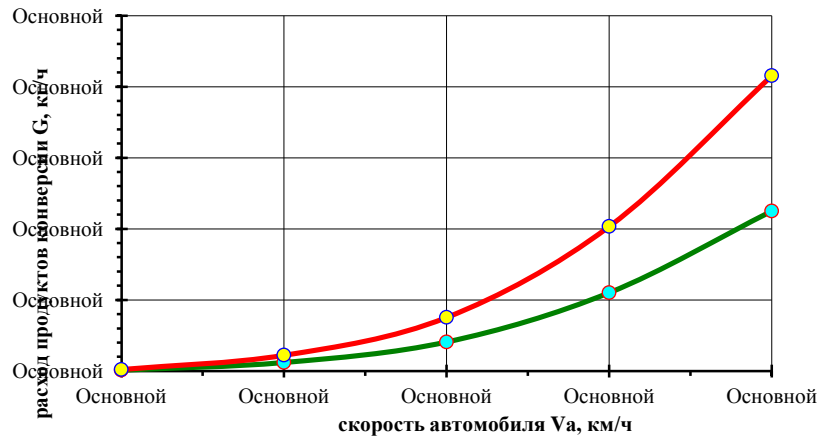
$$G_{кз} = \frac{G_B \cdot H_n^B}{H_n^{кз}}, \text{кг/рік} \quad (3.13)$$

де  $G_{кз}$ ,  $G_B$  – витрати продуктів конверсії й метанолу,

$H_n^B$ ,  $H_n^{кз}$  – нижча теплота згоряння бензину й конгаза (відповідно 44000 й 23840 кДж/кг).

### 3.2 Результати розрахунків математичної моделі на прикладі автомобіля ЗАЗ-1102

Для руху автомобіля ЗАЗ-1102 зі швидкістю 60 і 100 км / год потрібно, відповідно, 4,1 і 8,2 кг / год продуктів конверсії метанолу. Розрахункова витрата палива автомобілем ЗАЗ-1102 наведені на мал.3.1, витрата конгаза цього склада по їздовому циклу для автомобіля ЗАЗ-1102 наведений на мал.3.2



Мал. 3.1 Розрахункова витрата палива автомобілем ЗАЗ-1102

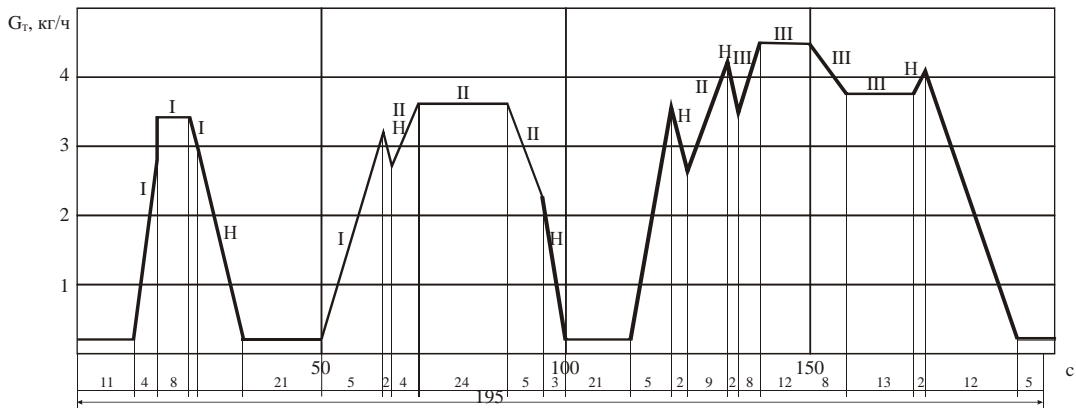
У зв'язку з тим, що автомобіль при русі по місту до 70% часу працює на х/х і часткових навантаженнях орієнтація при розрахунках продуктивності реактора на максимальну витрату метанолу недоцільна. Крім того, при спільній роботі реактора конверсії й двигуна на х/х і часткових навантаженнях, внаслідок недостатньої температури ОГ (при існуючих каталізаторах процесу) повної конверсії досягти неможливо. У зв'язку із цим частина метанолу буде надходити у двигун не прореагувавши в цільових продуктах конверсії. Відомо, що застосування випаруваного метанолу підвищує ефективність робочого процесу двигуна приблизно на 8%. Тому доцільно систему конверсії, у якій через випарник проходить усе паливо, а в реактор подається тільки така його кількість, прореагує з найбільшим ступенем конверсії у водневміщуючий газ при даному режимі роботи реактора й двигуна.

З метою зниження массогабаритних характеристик реактора конверсії метанолу його продуктивність слід ухвалювати приблизно на 20% менше максимальній. Судячи зі зміни витрати конгазу по їздовому циклу при переході з х/х на режим руху зі швидкістю 15 і 32 км / год збільшення подачі палива за 4-5 з повинне скласти, відповідно 3,2 кг / год і 3,6 кг / ч.

Внаслідок інерційності роботи реактора таке збільшення продуктивності неможливо, тому для цього необхідний спеціальний накопичувач ємністю:

$$V_H = \frac{G_{15}^{K2} - G_{xx}^{K2} \cdot t_{пер}}{3600 \cdot \rho_{K2}} = \frac{3,6 - 0,3 \cdot 4}{3600 \cdot 0,476} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (3.14)$$

При тиску в системі  $p = 0,15$  Мпа обсяг поменшається до 5 л.



Мал. 3.2 Витрата конгаза по їздовому циклі для автомобіля ЗАЗ-1102

### 3.3 Розрахунки реактора

Габарити: висота - 420 мм;

Діаметр - 272 мм .

Довжина витків випарника:

$$L = \pi \cdot d \cdot n = 3,14 \cdot 24 \cdot 9 = 678,24 \text{ див} = 6,78 \text{ м} \quad (3.15)$$

Площа теплообміну випарника:

$$S_{m0}^u = \pi \cdot d_{mp} \cdot l = 0,298 \text{ м}^2 \quad (3.16)$$

Зовнішній діаметр - 14 мм;

Внутрішній діаметр - 12 мм.

Каталізатор конверсії метанолу (мідно – нікелевий і мідно – цинковий) нанесений на пористі блоки з пінометалу, який розміщений усередині пористого блоку з пінометалу з нанесеним на нього каталізатором окиснення продуктів неповного згоряння палива.

4 довжиною – 0,545 м, 4 довжиною – 0,535 м.

Площа теплообміну катали заторного блоку.

$$S_{mo}^k = \pi \cdot d_{\psi} \cdot l_{\psi} + \pi \cdot d_{nmp} \cdot l_{nmp} = 3,14 \cdot (24 + 26 + 4 \cdot 27) = 0,23m^2 \quad (3.17)$$

Обсяг реакційної камери

$$V_{p.k.} = \frac{\pi \cdot d_{\psi}^2}{4} \cdot l_{\psi} - \frac{\pi \cdot d_{nmp}^2}{4} \cdot l_{nmp} = \frac{\pi \cdot 24^2}{4} \cdot 26 - \frac{\pi \cdot 4^2}{4} \cdot 27 = 0,001142m^3 \quad (3.18)$$

Габаритний обсяг реактора

$$V_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = \frac{\pi \cdot 27,2^2}{4} \cdot 42 = 24392cm^3 = 24,4л. \quad (3.19)$$

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 4.1 Експериментальний моторний стенд і контрольно-вимірювальне встановлення

Іспитовий стенд, схема якого наведена в додатку, включає:

- 4-х циліндровий двигун Мемз-245;
- Навантажувальний пристрій, що представляє собою електрогальмівну установку типу MS 2218 - 4 "Всетин",
- Апаратуру для аналізу складу ОГ,
- Систему виміру повітря, палива, крутного моменту, температури, а також ряд приладів, необхідних для проведення науково-дослідних робіт.

#### 4.1.1 Опис гальмової установки

Основною частиною іспитового стенда є електрогальмівна установка типу MS5-2218-4 "Всетвані" виробництва ЧССР, що забезпечує плавне регулювання обертів і навантаження.

Установка може працювати в режимі генератора й у режимі двигуна з реверсуванням напрямку обертання.

Динамометр, що представляє собою машину постійного струму, і генератор постійного струму з'єднані таким чином, що утворюють групу Леонарда.

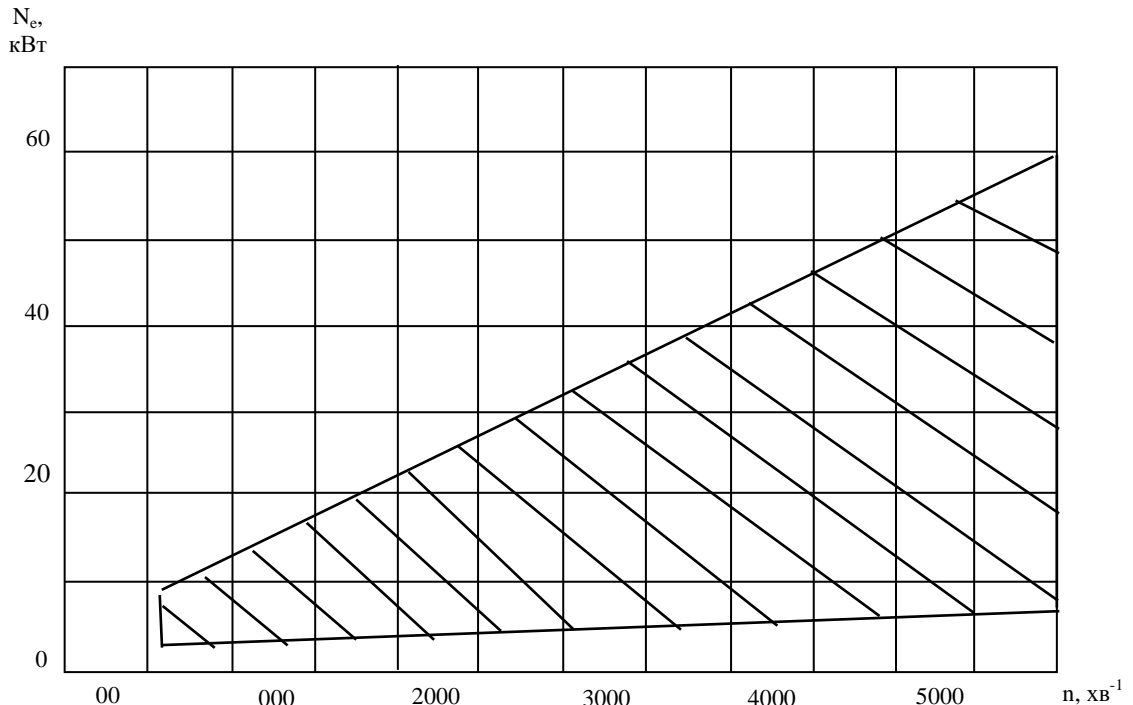
При застосуванні динамометра як двигуна для привода випробуваної машини генератор постійного струму, наведений в обертання трифазним асинхронним двигуном, виробляє електричну енергію для живлення динамометра. Двигун харчується від трифазної мережі змінного струму.

При застосуванні динамометра в навантаження випробуваного двигуна, тобто як гальмо, динамометр працює в режимі генератора й приводить в обертання трифазний асинхронний двигун з надсинхронними обертами. Відомий



асинхронний двигун працює в режимі асинхронного генератора й генерує електричну енергію в мережу.

Робоча характеристика електрогальмівного пристрою представлена на мал. 4.1.



Мал. 4.1 Характеристика електрогальмівного пристрою

#### 4.1.2 Опис двигуна

Двигун МеМз-245 карбюраторний чотиритактний з однорядним розташуванням циліндрів і верхнім розташуванням клапанів.

#### Основні технічні параметри

Кількість циліндрів	4
Робочий обсяг циліндрів, л	1,091
Діаметр циліндра й хід поршня, мм	72x67
Ступінь стиску	9,5
Потужність при частоті обертання колінчатого вала двигуна 3000-3500 хв <sup>-1</sup> , кВт	37
Крутний момент при частоті обертання колінчатого вала двигуна 300-3500 хв <sup>-1</sup> , Нм	78,5
Мінімальна частота обертання колінчатого вала на холостому ходу, хв <sup>-1</sup>	850
Порядок роботи циліндрів	1-3-4-2

Напрямок обертання колінчатого вала двигуна

праве

### ***Питомі показники***

Літрова потужність квт/л	34,4
Мінімальна питома витрата палива, г/квт год	213
Середня швидкість поршня, м/с	12,3
Паливо	бензин АИ-93
Масло	М-63/12Г1
Охолодна рідина	ТОСОЛ - А40 ТОСОЛ - А65

Двигун має рідинну примусову систему охолодження з регулюванням температури охолодної рідини термостатом ТС 103-04. Вентилятор з електричним приводом постачений термовимикачем. Система змащення комбінована: під тиском і розбризкуванням. Камера згоряння двигуна - напівконусна.

Двигун оснащено двома системами живлення:

1. На бензині;
2. На газі конверсії метанолу.

Карбюратор ДААЗ 21081-117010 емульсійного типу двокамерний з послідовним відкриттям дросельних заслінок. Карбюратор має збалансовану поплавкову камеру, систему отсоса картерних газів дросельну заслінку, підігрівши дросельної заслінки першої камери, блокування другої камери. Свічі запалювання А 17ДВ-10 з різьбленням М14 1,256 Е, довжиною частини, що вкручується, 19 мм.

### ***Фази газорозподілу, гради п. к. в.***

Відкриття впускного клапана до ВМТ	9
Закриття впускного клапана після НМТ	48
Відкриття випускного клапана до НМТ	40
Закриття випускного клапана після ВМТ	17

### ***Заправні ємності, л:***

Паливний бак – 38;

Система змащення двигуна (включаючи масляний фільтр) - 3,45;

Система охолодження двигуна (включаючи систему опалення салону) – 7;

### **4.1.3 Опис комплексу КВП**

Стенд обладнаний приладами й апаратурою, що відповідає ДЕРЖСТАНДАРТ 14846-81 "Двигуни автомобільні. Методи стендових випробувань". Контроль температури охолоджуючої води здійснюється за допомогою хромель-копелевої термопари й реєструється потенціометром КСП 2-003 (границі виміру від 0 до 200°C). Температура масла в картері контролюється за допомогою хромель-копелевої термопари, приєднаної до термоелектричного термометра ТХК (границі виміру від 0 до 300°C).

Температура газів, що відробили, контролюється хромель-алюмінієвою термопарою, підключеної до потенціометра КВП1-503 з межами виміру від 0 до 300 С. Тиск масла в системі змащення контролюється за допомогою двухстрілочного манометра (межі вимірів від 0 до 1,0 МПа).

Система виміру числа обертів колінчатого вала двигуна містить диск із 60 зубцями, установлений на валу й магнітоіндукційний датчик, з'єднаний з лічильником Ф5080, щомиті реєструє оберти двигуна в цифровій формі.

Кількість циклів двигуна виміряється магнітоіндукційним датчиком і реєструється Ф5007. Установка оснащена автоматичною системою виміру витрати повітря й палива. Завмер витрати повітря здійснюється за допомогою газового лічильника РГ-100, встановленого на повітряному ресивері й оснащеного імпульсним лічильником числа обертів ротора типу Ф5007 з безконтактним магнітоіндукційним датчиком.

Витрата палива виміряється ваговим способом. Для зважування, що витрачається палива, використовуються циферблатні ваги ВНЦ-2 з межами виміру по шкалі від 0 до 200 г і ціною розподілу 2 г. На стрілці ваг закріплений геркон, що дає керуючий сигнал на частотомір-хронометр Ф5080. Останній показує час, за який витрачається навішення палива.

Схема забезпечує синхронне включення лічильника числа обертів ротора витратоміра із хронометром при вступі керуючого сигналу від геркона. Одночасно включається й лічильник циклів. Таким чином, замір витрати повітря й

палива, що подається в циліндр, проводиться одночасно, що уточнює результати випробувань і контроль складу суміші.

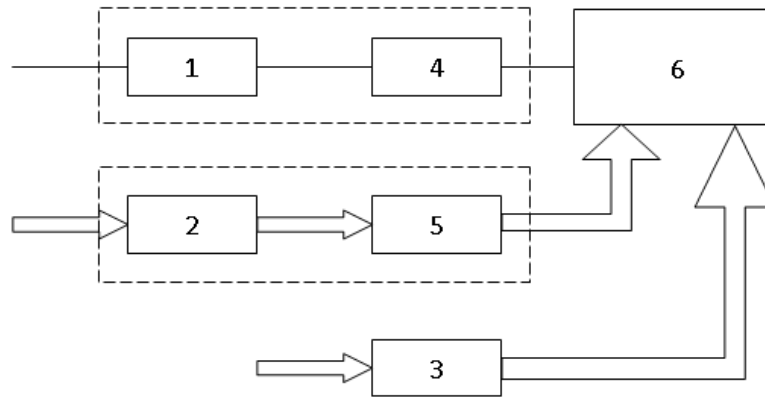
За час витрати контрольної кількості палива визначається кількість робочих циклів двигуна дозволяє встановити величину циклової подачі палива.

Кут випередження запалювання визначається приладом ИУ-5 з індикацією на світловому табло в цифровій формі й контролюється стробоскопом типу 237 / В "ОМОН", виробництва ВНР. Для визначення компонентів відроблених газів двигуна застосовуються газоаналізатор безперервної дії - 344ХЛ01- вітчизняного виробництва. Для виміру концентрацій  $H_2$ ,  $PRO_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ , і  $O_2$  застосовуються хроматограф "Газохром 3101".

#### ***4.1.4 Система індуквання тиску в порожнині циліндра двигуна***

Структурна схема системи індуквання показана на мал. 4.2. Сигнал тиску сприймається розташованим у камері згоряння 4-го циліндра повітряним п'єзо-кварцовим датчиком тиску RFT типу Рд-100/14-2 виробництва Німеччини. Сигнал датчика підсилюється електрометричним каскадом катодної осцилографа, що входить у комплект спеціалізованого індикатору ОРІОН-100 виробництва ВНР і надходить на один із променів двопроменевого запам'ятовувального осцилографа 38-14. На інший промінь осцилографа надходить сигнал від імпульсного трансформатора, встановленого на свічковому проведенні й формуючого сигнал.

Запам'ятовувальне осцилограф працює в режимі зовнішнього розгорнення, синхронізація якої здійснюється імпульсним сигналом від кварцового генератора лічильника-хронометра Ф6080. Комутація синхронізуючого імпульсу й переміщення моменту його видачі по куту повороту кривошипа здійснюється за допомогою датчика ходу індикатору ОРІОН, встановленого на валу двигуна.



Мал. 4.2 Структурна схема системи індукування тиску  
 1 - датчик ходу, 2 - датчик тиску, 3 – імпульсний трансформатор, 4 – лічильник – хронометр Ф5080, 5 – електрометричний підсилювач, 6 – запам'ятовувальний осцилограф 38-14.

#### 4.2 Розробка методики проведення розрахункових досліджень за узгодженням параметрів роботи двигуна й реактора.

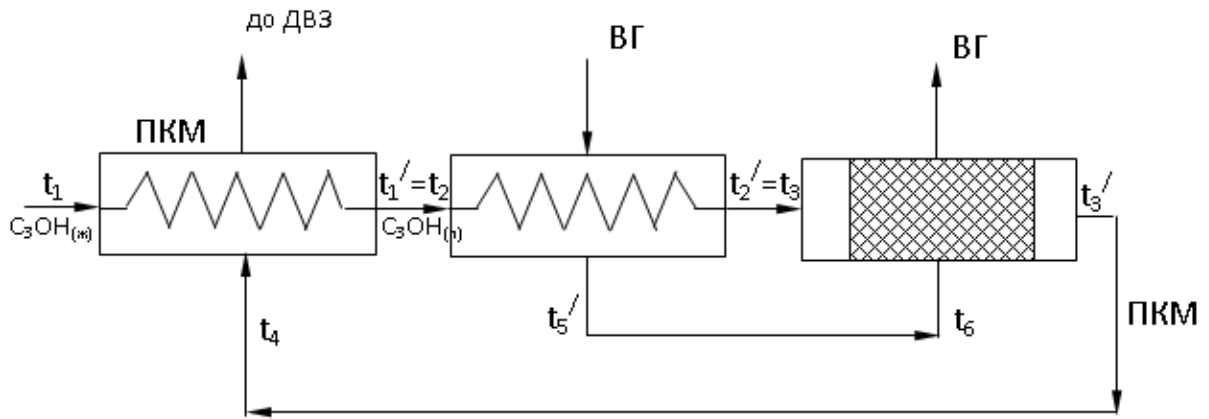
Ефективність застосування реактора конверсії метанолу як агрегату для утилізації тепла з газів, що відробили (ОГ) у двигуні, з метою термохімічного перетворення вихідного палива, залежить від ступеня узгодження характеристик реактора й двигуна, як дискретного джерела теплоносія, що гріє.

Для автомобіля ЗАЗ-1102 із двигуном МеМз - 245 система конверсії включає: випарник, перегрівник і реактор. Останні виконані в одному корпусі, що й обігриваються ОГ.

Продукти конверсії метанолу на виході з реактора мають температуру порядку 180 ° С. Тому з метою підвищення коефіцієнта наповнення, вони прохолоджуються перед подачею у двигун у міжтрубному просторі випарника.

Розрахункова схема системи конверсії наведена на мал. 4.3.

Залежно від режиму роботи двигуна обсяг і температура ВГ міняється, що позначається на продуктивності реактора й ступені конверсії метанолу у воденьвмищуючий газ. Склад газів, що відробили, для палива моделює продукти повної конверсії метанолу (67% про. Н<sub>2</sub> і 33% про. З).



Мал. 4.3 Розрахункова схема системи конверсії:  
 1 – змійовик випарника; 2 – змійовик перегрівника; 4 – міжтрубна порожнеча випарника; 5 – міжтрубна порожнеча перегрівника; 6 – міжтрубна порожнеча реактора.

Об'ємна витрата ОГ визначається по формулі:

$$V_{ог} = \frac{22,4 \cdot M_h \cdot \eta_v \cdot n}{2 \cdot \beta \cdot z}, \text{ м}^3/\text{ГОД}, \quad (4.1)$$

де  $M_h \cdot \eta$  - заряд одного циліндра, кмоль;

$\beta$  - коефіцієнт молекулярної зміни;

$n/2$  – число тактів хв. (двигун 4-х тактний);

$n$  – хв.<sup>-1</sup>;

$z$  - число циліндрів;

$\eta_v$  - потенційний заряд циліндра.

Коефіцієнт теплопередачі від ОГ до стінок реактора може бути визначений:

$$\alpha_1 = 3,35 \cdot 10^{-5} \left( \frac{V_{ог}}{\nu} \right)^{0,5} \cdot \frac{\lambda}{d^{1,8}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (4.2)$$

де  $V_{ог}$  – витрата ОГ, м<sup>3</sup>/год;

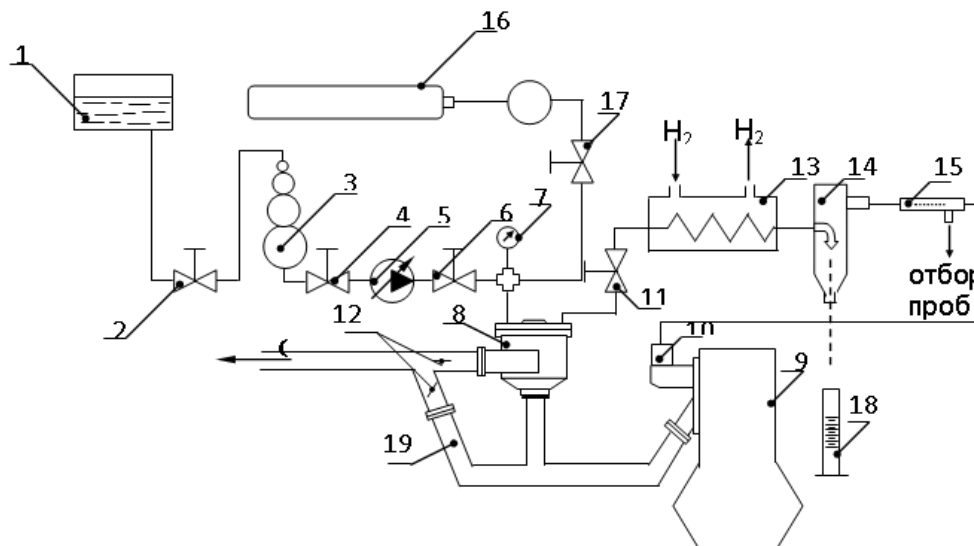
$\nu$  - кінематична в'язкість ОГ, м<sup>2</sup>/з;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності ОГ, Вт/мк;

$d$  – діаметр випускного трубопроводу, м.

### 4.3 Розробка схеми стендової системи конверсії метанолу і її елементів

Принципова схема стендової системи конверсії метанолу для двигуна ЗАЗ-1102 наведено на малюнку 4.4.



Мал. 4.4 Схема стендової системи конверсії метанолу

Дана система складається з метанольного бака 1 запірним краном 2 штихпробера 3 для виміру витрати метанолу, на виході якого встановлений кран 4, насоса 5, вентилів 6, 11 і 17, манометра 7, реактора 8, двигуна 9 з карбюратором 10 байпасного трубопроводу 11 перепуску ОГ із дросельними заслінками 12 холодильника продуктів конверсії 13 із сепаратором 14 пробовідбірна ПКМ 15 газового балона 16 з інертним газом, мірної колби 18.

Система працює в такий спосіб. Метанол з бака 1 надходить у штихпробер 3 і потім насосом 5 під тиском подається в реактор 8. Тиск у реакторі контролюється манометром 7. Міжтрубна порожнина реактора обігривається ОГ двигуна 9, причому наявність байпасного каналу 11 з регулюючим потоком ОГ дросельними заслінками 12 дозволяє змінювати витрату теплоносія, гріє (ОГ) через реактор.

З реактора продукти конверсії метанолу направляються в холодильник 13, а потім у сепаратор 14, де відділяється рідка фаза ПКМ. Охолодження ПКМ у холодильнику перед подачею у двигун пояснюється необхідністю збільшення коефіцієнта наповнення циліндрів для зменшення втрат потужності двигуна

при переході на продукти конверсії. Тому що ряд каталізаторів конверсії метанолу втрачає свої властивості при контакті з повітрям, при непрацюючому двигуні реакційна камера перебуває під невеликим надлишковим тиском інертного газу (гелію або аргону). Із цією метою в систему включено два вентиля 6, 17 і балон 16 з інертним газом.

На виході із сепаратора встановлена пробовідбірна трубка 15 для аналізу газової фази продуктів конверсії метанолу.



## **5. ОХОРОНА ПРАЦІ. ДОСЛІДЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЯ.**

**Аналіз стану питання.** У всіх відомих видах трудової діяльності людина піддається впливу різних за своєю природою факторів виробничого середовища і самого трудового процесу. Багато з них присутні і в житловій сфері, і в міському середовищі. З позицій методології нормування факторів захисту людини від їх впливів прийнято розділяти чинники на дві групи - шкідливі і небезпечні. Визначення небезпечного і шкідливого фактора стосовно виробничому середовищі наведені в ГОСТ 12.0.002-80. Небезпечним виробничим фактором є такий фактор виробничого процесу, вплив якого на працюючого приведе до травми або різкого погіршення здоров'я.

Шкідливі виробничі фактори - це несприятливі фактори трудового процесу або умов навколишнього середовища, які можуть вплинути на здоров'я й працездатність людини. Тривалий вплив на людину шкідливого виробничого фактора приводить до захворювання. Шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним залежно від рівня й тривалості впливу на людину.

У відповідності зі стандартом " ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.0.003-74 ССБТ. Небезпечні й шкідливі виробничі фактори. Класифікація" небезпечні й шкідливі виробничі фактори підрозділяються по природі дії на наступні групи: - фізичні; - хімічні; - біологічні; -психофізіологічні.

**Постановка задачі.** У зв'язку з поставленою темою треба розглянути чинники, які створюють небезпечні умови для водіїв, пасажирів, обслуговуючого персоналу та ін., що приймають участь у експлуатації автотранспортного засобу(АТЗ); розглянути вимоги до безпеки автомобілів, щодо впливу шуму та вібрації на людину.

**Матеріали дослідження.** При експлуатації АТЗ найбільш актуальні фізичні й психофізичні групи небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Фізичні небезпечні й шкідливі виробничі фактори підрозділяються на наступні підгрупи:, рухливі машини й механізми; незахищені рухливі елементи

виробничого встаткування; підвищена запиленість і загазованість повітря кабіни автопоїзда; підвищена або знижена температура кабіни трактора; підвищений рівень шуму на робочім місці; підвищений рівень вібрації; знижена або підвищена вологість повітря; підвищена або знижена рухливість повітря; відсутність або недолік штучного світла при навантаженні; підвищена яскравість світла. Психофізичні небезпечні й шкідливі виробничі фактори викликають перевантаження, які по характеру дії підрозділяються на фізичні й нервово-психічні.

Фізичні перевантаження підрозділяються на статичні, динамічні, гіподинамічні. Причинами нервово-психічних перевантажень можуть бути розумова перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

Шумові характеристики й припустимі рівні шуму. Шум, будучи безладною комбінацією звуків різної інтенсивності й частоти, по природі виникнення може бути механічним, аеродинамічним і електромагнітним.

У якості оціночного показника внутрішнього шуму ухвалюється рівень звуку в децибелах, скоректованих по шкалі А за ДСН 3.3.6.037-99.

Припустимі рівні внутрішнього шуму автотранспортних засобів за ГОСТ 51616-2000 наведено в таблиці 5.1.

*Таблиця 5.1*

Автотранспортний засіб	Припустимі рівні звуку, дБ	
	до 01.01.2014	після 01.01.2014
Автомобілі категорії N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> (сідельні тягачі, вантажні автомобілі)	82	81
Автомобілі категорії N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub> ( при наявності спального місця)	80	78
Примітка Для автотранспортних засобів підвищеної прохідності категорії M G по ДЕРЖСТАНДАРТ Р 52051 допускається перевищення припустимих рівнів звуку не більше ніж на 2 дБ.		

Припустимі рівні зовнішнього шуму автотранспортних засобів за ГОСТ 52231-2004 наведено в таблиці 5.2.

Автотранспортний засіб	Припустимі рівні звуку, дБ
Автомобілі вантажні категорії N <sub>2</sub>	98
Автомобілі вантажні категорії N <sub>3</sub>	100

Для зниження шуму, що діє на водія автопоїзда, можливі наступні заходи:

- застосування глушителей шуму, що використовують принцип активного й реактивного шумопоглинання;
- поліпшення віброізоляції;
- застосування більш ефективних шумопоглинальних матеріалів для оббивки кабіни;

Вібрація - це складний коливальний процес, що виникає при періодичному зсуві центру ваги тіла, або системи тіл від положення рівноваги, а також при періодичній зміні форми тіла, яку воно мало в статичнім положенні. Вібрація виникає при роботі машин і механізмів, що мають неврівноважені обертові або здійснюючі зворотно-поступальний рух вузли й деталі.

Систематичний вплив локальної вібрації викликає вібраційну хворобу із втратою працездатності. Ця хвороба виникає поступово, викликаючи біль в суглобах, судороги пальців, спазми судин.

Загальна вібрація впливає на нервову й серечно - судинну системи, викликає порушення опорно-рухового апарата, шлункового - кишкового тракту.

Вплив вібрації на людину класифікується:

- за способом передачі вібрації на людину;
- по напрямкові дії вібрації;
- по тимчасовій характеристиці вібрації.

Для АТЗ загальні рівні вібрації на робочім місці водія не повинні перевищувати:

- а) по корегованих і еквівалентних корегованих значеннях віброприскорення: по осі Z - 0,56 м/кв. с або 65 дБ, по осях X і Y - 0,4 м/кв. с або 62 дБ;
- б) по корегованих і еквівалентних корегованих значеннях віброшвидкості: по осі Z - 1,1 м/с 10<sup>-2</sup> або 107 дБ, по осях X і Y - 3,2 м/с 10<sup>-2</sup> або 116 дБ.

Рівні локальної вібрації на важелях і органах керування транспортних засобів не повинні перевищувати:

а) по корегованих і еквівалентних корегованих значеннях віброприскорення по всіх трьом осям (X, Y, Z) - 2,0 м/кв. с або 76 дБ;

б) по корегованих і еквівалентних корегованих значеннях віброшвидкості по всіх трьом осям (X, Y, Z) - 2,0 м/с 10-2 або 112 дБ.

Для зниження вібрації, що діє на водія автопоїзда, можливі наступні заходи:

- установка кабіни на спеціальних віброізоляторах;
- використання більш досконалої системи віброізолюючих властивостей сидіння водія;

Робота з керування автомобілем ставиться до розряду, найбільш напружених і стомлюючих форм трудової діяльності. Ця робота протікає в умовах постійної й значної нервовоемоційної напруги, свідомістю та відповідальністю за життя людей і матеріальні цінності. Швидкість реакції й точність робочих рухів водія сучасного автомобіля є найважливішими факторами забезпечення безпеки руху. Ці якості у великому ступені залежать від зручності робочого місця водія, яке повинне створювати сприятливі умови праці й виключати можливість виникнення аварій, викликаних перенапругою при роботі водія.

Вимоги до робочого місця водія регламентуються наступними документами:

- ДЕРЖСТАНДАРТ 50866-96. Автотранспортні засоби. Система опалення, вентиляції й кондиціонування. Методи оцінки ефективності й безпеки.
- Правила по охороні праці на автомобільному транспорті. ППТ РО-200-01-95.
- ГН 2.2.5.686-98. Гранично припустимі концентрації (ГПК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони.
- ДЕРЖСТАНДАРТ 51206-98. Автотранспортні засоби. Зміст шкідливих речовин у повітрі салону й кабіни. Норми й методи визначення.
- ДЕРЖСТАНДАРТ 12.1.005-88. ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.

Із цього випливає що:

Системи вентиляції, опалення, кондиціонування, засобу теплоізоляції повинні забезпечувати підтримку в кабіні (салоні) транспортного засобу параметри мікроклімату, зазначені в таблиці 5.3., не пізніше чому через 30 хвилин після початку безперервного руху транспортного засобу із прогрітим двигуном. Оптимальні й припустимі норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в кабіні транспортного засобу розглянуто в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Сезон року	Тип транспортного засобу	Температура повітря гради. С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря не більш, м/с,
Холодний і перехідний періоди року	Вантажні й автобуси	18...20/17...23	60...40/75	0,2/0,3
Теплий період року	Вантажні й автобуси	21...23/ не більше ніж на 3°C вище середньої температури зовнішнього повітря в 13г. самого жаркого місяця але, не більш 28°C	60...40/ при: 28°C.-не більш55 27 3-С- не більш60 25 3-С- не більш70 24С и нижче – не більш75	0,3/02-05
Примітка. У чисельнику зазначені оптимальні параметри, у знаменнику - припустимі				

Перепад температури повітря по висоті кабінки не повинен перевищувати 3 град С. Температура внутрішніх поверхонь кабінки не повинна відрізнятися від температури повітря в кабінки більш ніж на 3 град. С.

Кабінка повинна бути обладнана захисними козирками, жалюзі й іншими засобами захисту від сонячної радіації, а також засобами теплозахисту від працюючого двигуна, що забезпечують залишкове теплове опромінення водія від обшивки кабінки - не більш 35 Вт/кв. м, від вікон - не більш 100 Вт/кв. м.

Системи вентиляції, опалення, кондиціонування повітря повинні забезпечувати регулювання повітряних потоків у кабінки транспортного засобу із забез-

печенням параметрів по п. 1.1 і усувати запотівання й обмерзання стекол кабіни. Контроль стану повітряного середовища в кабіні транспортного засобу повинен здійснюватися з урахуванням виду використовуваного палива й концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони водія не повинна перевищувати при роботі двигуна на бензині - вуглеводнів у перерахуванні на 3 - 300 мг/куб. м, окиси вуглецю - 20 мг/куб. м, окислів азоту - 5 мг/куб. м; а також: свинцю - 0,01 мг/куб. м для етилованого бензину; метанолу - 5 мг/куб. м, формальдегіду - 0,5 мг/куб. м для метилованого бензину або чистого метанолу; акролеїна - 0,2 мг/куб. м для дизельного палива.

Загальна освітленість у кабіні на рівні щитка приладів повинна бути не менш 10 лк. Освітленість шкали приладів повинна бути не менш 1,2 лк. Для забезпечення відповідних вимог по мікроклімату проводять наступні заходи:

- у теплу пору року кабіна обладнається регульованою системою вентиляції, що забезпечує необхідну швидкість повітряного потоку в зоні подиху оператора залежно від температури повітря на робочім місці;

- поліпшення герметизації й теплоізоляції кабіни;

- кабіна повинна мати регульовану систему обігріву для забезпечення необхідного мікроклімату на робочім місці;

- застосування сучасних систем кондиціонування й очищення повітря, що надходить у кабіну.

## ВИСНОВКИ

Одним з напрямків вирішення проблем паливної економічності й екології великих міст є заміна теплових двигунів, використовуваних у цей час у конструкціях більшості транспортних машин, електродвигунами, що не забруднюють навколишнє середовище й виробляютьи набагато менше шуму. Багато автомобільних фірм працюють над створенням конструкції електромобіля, здатного конкурувати по своїх експлуатаційних властивостях зі звичайними автомобілями. Такі роботи не втрачають своєї актуальності й у цей час, але на сучасному рівні розвитку електрохімічної промисловості у світі проблематично через відсутність ефективних накопичувачів електроенергії прийнятних габаритів, маси й вартості забезпечити шляховий пробіг електромобіля, порівнянний із пробігом автомобіля на одному заправленні паливом.

Зазначені вище проблеми створення чистого електромобіля дозволили зробити вивід багатьом дослідникам і конструкторам про необхідність проведення робіт, спрямованих на створення конструкцій гібридних (комбінованих) енергосилових установок (КЕСУ) транспортних засобів, що полягають із теплового (карбюраторний, дизельний і ін.) і електричного двигунів. У таких енергосилових установках більш ефективно використовується електрична й тепла енергія при виконанні заданого обсягу робіт, що в результаті дозволяє поліпшити паливну економічність на 30-50 %, зменшити рівень шуму, суттєво підвищити екологічну безпеку транспортних засобів. Поліпшення зазначених експлуатаційних властивостей відбувається за рахунок можливості застосування в конструкції малопотужного теплового двигуна й забезпечення його роботи на, що встановилися або близьких до них режимах. У процесі гальмування й затримки відбувається рекуперація кінетичної енергії транспортного засобу, тобто електродвигун працює в генераторному режимі, заряджаючи накопичувачі електричної енергії, які в порівнянні із чистим електромобілем будуть працювати в більш легких експлуатаційних режимах, що дозволить значно збільшити їхню довговічність.

Малий досвід створення Оптимальні й припустимі норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в кабіні транспортного засобу КЕСУ Припустимі рівні внутрішнього шуму автотранспортних засобів вимагає продовження робіт з удосконалювання методів досліджень КЕСУ і їх конструкцій. Одним з напрямків підвищення ефективності роботи КЕСУ є розробка більш ефективних теплових двигунів, що працюють на альтернативному паливі, що й дозволяють ще в більшій мері не тільки підвищити екологічні показники гібридних автомобілів, але й скоротити споживання палив нафтового походження.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Гайнулін Ф.Г., Гриценко А.І., Васил'єв Ю.Н. і ін. Природний газ як моторне паливо на транспорті. М.: Надра, 1986. 255 с.
2. Кленніков Е.В., Мартиров О.А., Крилов М.Ф. Газобалонні автомобілі: технічна експлуатація. М.: Транспорт, 1986. 175 с.
3. Смаль Ф.В.//Експлуатаційно – технічні властивості й застосування автомобільних палив, мастильних матеріалів і спецрідин./Праці НПАТ. М.: Вид-У НПАТ, 1982.
4. Мищенко А.І. Застосування водню для автомобільних двигунів. Київ: Наукова думка, 1984. 143 с.
5. Варшавський І.Л., Мищенко А.І., Толда Г.Б.//Автомобільна промисловість. 1976. №9.84 с.
6. Коллеров Л.К.//Двигунобудування. 1982. 212 с.
7. Смаль М.Ф. Метанол – паливо для автомобілів // Автомобільний транспорт. - 1978. - №7.93 с.
8. Терент'єв Г.А., Смаль Ф.В., Тюків В.М. Виробництво альтернативних моторних палив і їх застосування на автомобільному транспорті // Темат. Огляд. М.: ЦНПТЕНавтохім, 1985. - 234 с.
9. Двигун з іскровим запалюванням, що працює на випаруваних спиртах // Експрес-інформ. Поршневі й газотурбінні двигуни. - М.: ВИНІТИ, 1983. - № 44.49 с.
10. <http://www.samodelkin.komi.ru>
11. <http://www.commons.wikimedia.org>
12. Моторні палива з альтернативних сировинних ресурсів./Г.А. Терент'єв, В.М. Тюків, Ф.В. Смаль – М.: Хімія, 1989. - 272 .
13. Патент 4567857 США. Combustion engine system. МКИ F02 В43/08; F02 В19/00. John Houseman, Gerard E. Voecks. 04.02.86.
14. Патент 4716859 США. Process for treatment of liquids consisting primarily of methanol. МКИ F 02 В 43/08. Axel Kouly, Kurt Korbeletal. 05.01.88.

15. Патент 4444158 США. Alcohol dissociation process for automobiles. МКИ F 02 B 75/12/ Heeyong Jonn, Me Murray, Pa. 12.04.84.
16. Мищенко А.І., Талда Г.Б., Белогуб А.В. розробка й дослідження паливоподаючої апаратури бензоводнекисневого автомобільного двигуна. Тези докл. Всесоюзн. науково-техн. конф. Ворошиловград, 7-9 червня 1983 р. –92 с.
17. Hirota Toshio. Дослідження ДВЗ, що працює на продуктах розкладання метанолу/ Jidosha gijusu. J. Soc. Automot. Eng. Jap. -1980. -34, N10. -pp. 998-1003.
18. Розшукові роботи по добору марганецьзмістовних каталізаторів для процесу розкладання метанолу. Вивчення можливості заміни імпортованих каталізаторів, використаних у системі СНОГ автотранспорту ТСМ і Тойота, каталізатором ПЛК –1. Звіт про НИР. ИНХЕЛ АН СРСР Рук. Бахтадзе В.Ш. Індр. №02870039129., 1967. -91 с.
19. Кукис В.Г. Оцінка можливостей утилізації енергії, що відробили газів ДВЗ./ Двигунобудування, 1990. - 91 с.
20. Белогуб А.В. розробка й дослідження паливної апаратури для ДВЗ, що працюють на суміші бензину з воднем. Дисс. Кандидата тех. наук: 04840018889. -Х., 1984.-196 с.
21. Звонов В.А. Токсичність двигунів внутрішнього згорання 2-е вид. - М.: Машинобудування, 1981.-160 с.
22. Звонов В.А., Черних В.І., Балакін В.К. Метанол як паливо для транспортних двигунів. - Х: Вид. - “Основа” при Харьк. ун-ті,1990. -150с.
23. Талда Г.Б. Підвищення паливної економічності й зниження токсичності бензинових двигунів добавкою водню до бензину. Дисс. канд. техн. наук: 048400144440.-Х.,1984. -214 с.
24. Кора R.D., Hollander B.R., Hollander F.H. Combustion temperature, pressure and product at chemical equilibrium. Report N64. - 1. Los Angeles, 1964. - p.119.
25. <http://rynok-rossii.ru>