

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему **«Покращення екологічних показників роботи автомобілів
автотранспортного підрозділу комунального підприємства
«Вінницяоблводоканал» використанням альтернативних палив»**



Виконав: студент 2 курсу,
групи 1АТ-18м спеціальності 274 –
Автомобільний транспорт
Соє В.В.

Керівник докт. техн. наук, проф.
Біліченко В.В.

Рецензент: док. тех. наук, професор
Козлов Л.Г.

Вінниця – 2019 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛІ ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	10
1.1 Сучасні альтернативні палива.....	10
1.2 Природний газ як моторне паливо та його характеристики.....	13
1.3 Аналіз способів переобладнання двигунів для роботи на природному газі.....	18
1.4 Аналіз методів оцінювання показників ТЗ при роботі на альтернативних паливах.....	25
1.4.1 Експериментальні методи.....	25
1.4.2 Розрахункові методи.....	31
1.5 Загальна характеристика автотранспортного підрозділу комунального підприємства «Вінницяоблводоканал».....	34
1.6 Висновки до розділу 1.....	42
РОЗДІЛ2 МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ПРИ РОБОТІ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА.....	43
2.1 Вибір їздового циклу для оцінки паливної економічності та екологічних показників переобладнаних автомобілів для роботи на природному газі.....	43
2.2 Математичне моделювання руху вантажного автомобіля	51
2.2.1 Основні рівняння математичної моделі.....	53
2.3 Перевірка адекватності окремих елементів моделі.....	63
2.4 Структура програми розрахунку показників транспортного засобу в їздовому циклі.....	65
2.5 Висновки до розділу 2.....	67
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА	68
РОЗДІЛ4 МЕТОДИКАТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	78
4.1Об'єкти досліджень	78
4.2 Результати стендових досліджень газового двигуна	82
4.3 Висновки до розділу 4.....	85
РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ НА МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ДВИГУНАМИ ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА.....	86

5.1 Вплив експлуатаційних факторів на показники транспортного засобу в їздовому циклі.....	86
5.2 Порівняльна оцінка паливної економічності та екологічних показників автомобілів з бензиновим, газовим і дизельним двигуном.....	88
5.3 Висновок до розділу 5.....	90
ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	93
ДОДАТКИ.....	101



ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПГ – природний газ;

ШР – шкідливі речовини;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ЗНГ – зріджений нафтовий газ;

ТЗ – транспортний засіб;

АГНКС – автомобільна газонаповнювальна компресорна станція.



ВСТУП

Актуальність теми. Природний газ (ПГ) розглядається як альтернативний замінник нафтових палив, особливо із-за можливості досягнення низьких викидів забруднюючих речовин, що на сьогодні є надзвичайно актуальним. В той час, коли ціни на нафтові палива безперервно зростають, ціна ПГ залишається приблизно в два рази меншою за ціну рідких моторних палив. Тому експлуатація автомобільного транспорту на ПГ є доцільною.

Високі моторні властивості ПГ, зокрема, його октантові числа, забезпечують можливість використання високих ступенів стискання (до 14 у малорозмірних двигунах) і тому забезпечують більш високу економічність у порівнянні з бензиновими двигунами. Покращення паливної економічності порівняно з дизелями залежить від способу конвертації для роботи на ПГ.

Двигуни які працюють на ПГ в значно меншій кількості викидають газоподібні шкідливі речовини (ШР).

При використанні ПГ істотно нижчі питомі викиди CO_2 , надмірна кількість якого в атмосфері порушує тепловий баланс унаслідок меншого інфрачервоного випромінювання в космос від поверхні землі.

Пускові якості двигунів, що живляться ПГ, кращі, ніж рідкопаливних двигунів. Пов'язано це, насамперед, з тим, що в процесах сумішоутворення відсутній етап прогріву і випаровування палива. Немає необхідності в істотному збагаченні суміші при пуску, що у випадку рідкопаливних двигунів, приводить до значного викиду в атмосферу незгорілих вуглеводнів.

При використанні ПГ, як правило, збільшується моторесурс двигуна до капітального ремонту приблизно в 1,5 рази.

При використанні ПГ спостерігаються як покращення так і погіршення експлуатаційних якостей транспортних засобів (ТЗ). Поряд з перевагами використання ПГ ТЗ є і ряд недоліків, які обмежують використання цього виду палива: підвищенні витрати ПГ, проблеми заправки, зміна деяких експлуатаційних

якостей, збільшення ваги та зменшення корисного простору в ТЗ, підвищені вимоги до пожежної безпеки.

Тому дослідження шляхів покращення паливної економічності та екологічних показників ТЗ застосуванням ПГ шляхом переобладнання рідкопаливних двигунів є актуальною науково-технічною задачею, яка вирішується в даній магістерській роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Напрямок досліджень відповідає Транспортній стратегії України на період до 2020 р., яку було схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р. Дослідження за темою дисертації належать до основних напрямів наукових досліджень кафедри "Автомобілі та транспортний менеджмент" Вінницького національного технічного університету.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є поліпшення паливної економічності та екологічних показників ТЗ застосуванням альтернативних палив шляхом переобладнання рідкопаливних двигунів для роботи на ПГ.

Для дослідження мети в магістерській роботі вирішуються наступні завдання:

1. Аналіз проблем та перспектив використання альтернативних палив для живлення ТЗ.
2. Аналіз структури рухомого складу і виробничо-технічної бази КП «Вінницяоблводоканал»
2. Уточнення математичної моделі для оцінювання показників ТЗ в експлуатаційних умовах при роботі на різних видах палива.
3. Проведення теоретичних та експериментальні досліджень газового двигуна, переобладнаного з дизеля.
4. Технологічний розрахунок виробничо-технічної бази КП «Вінницяоблводоканал»
5. Дослідження на математичній моделі паливної економічності та викидів ШР ТЗ в їздовому циклі за умови роботи на різних видах палива.

Об'єкт дослідження – паливна економічність та екологічні показники ТЗ при роботі на різних видах палива.

Предмет дослідження – вплив виду палива та експлуатаційних факторів на паливну економічність та екологічні показники ТЗ в їздовому циклі.

Наукова новизна одержаних результатів.

Проаналізовано та вибрано їздовий цикл який буде використовуватись для дослідження витрати палива та викидів ШР в найбільш реальних експлуатаційних умовах роботи ТЗ КП «Вінницяоблводоканал».

Уточнена комп'ютерна реалізація математичної моделі за прийнятим їздовим циклом шляхом описання двигуна за допомогою поліноміальних моделей.

Методи дослідження передбачали математичне моделювання руху газобалонного ТЗ, розрахунки на ПК паливної економічності та викидів ШР, експериментальне дослідження газового двигуна переобладнаного з дизеля.

Практичне значення одержаних результатів складає уточнені математичні моделі розрахунку витрати палива та викидів ШР вантажного газобалонного ТЗ в їздових циклах.

Публікації. Матеріали магістерської роботи представлені у матеріалах всеукраїнської науково-технічної інтернет конференції аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи».

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Сучасні альтернативні палива

З усіх глобальних проблем, що коли-небудь вирішувало людство актуальним і зараз залишаються проблеми виробництва енергії.

У світі нараховується більше 700 мільйонів автомобілів. За останні 25 років загальна кількість автомобілів збільшилася в три рази [1]. Їхня кількість постійно зростає і зупинити виробництво автомобілів на планеті неможливо. Автомобілізація багато в чому обумовила розвиток технічного прогресу і цивілізації. Але тут є і негативні сторони, а саме – автотранспорт є основним і найбільш енергоємним споживачем матеріальних, земельних і інших ресурсів; транспортні засоби забруднюють навколишнє середовище (термічні, хімічні, акустичні, вібраційні й інші викиди й інші види забруднень), особливо це стосується міст.

Переважаючим типом енергетичних установок на наземному і водному транспорті є поршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), що використовують рідке нафтове паливо. В даний час основне паливо автомобільного транспорту – нафтове (бензин, дизельне паливо та зріджений нафтовий газ (ЗНГ)).

Обмежений запас нафти на земній кулі і збільшення споживання рідкого палива на ТЗ приводить до подорожчання як сировини нафти, так і одержуваних з неї нафтопродуктів. Необхідність економії нафтових ресурсів та поліпшення експлуатаційних і, особливо, екологічних властивостей палив – обумовлюють пошуки ефективних способів отримання і використання замінників нафтових палив для автомобілів, що отримали загальну назву альтернативних.

До альтернативних палив в даний час відносять: ПГ: метан (CH_4); ЗНГ: пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}); спирти: метанол (CH_3OH) і етанол (C_2H_5OH) та продукти на їх основі; біопалива; водень (H_2).

Основними шкідливими речовинами, які забруднюють атмосферу, є: оксид

вуглецю CO; вуглеводні CH, в тому числі такі, що мають канцерогенні властивості; оксиди азоту NO_x; тверді частинки ТЧ і сажа С; двооксид сірки SO₂; сполуки свинцю Рb.

Окрім того, викликає занепокоєння підвищення концентрації двооксиду вуглецю CO₂ в атмосфері, що відбувається в результаті спалювання видобувних палив, внаслідок чого підсилюється парниковий ефект, що може призвести до непередбачуваних кліматичних, а отже і економічних та соціальних наслідків.

Обмеження викидів CO₂ реалізується через обмеження на витрату палива ДТЗ, що в загальному дозволяє поліпшити їх паливну економічність та екологічні показники.

Загальновизнано, що застосування на транспорті альтернативних палив знижує вміст CO₂ і ШР у відпрацьованих газах автомобілів. Проте продовжуються суперечки серед фахівців із ступеня зниження викидів ШР і можливості фактичного збільшення ступеня забруднення повітря внаслідок утворення інших забруднюючих компонентів при згорянні альтернативних палив.

До альтернативних джерел енергії для ТЗ слід також віднести електроенергію, використання якої дозволяє не тільки повністю вирішити проблему викиду ШР при експлуатації електромобілів, але і дозволяє економити нафтові ресурси при виробництві електроенергії, необхідної для зарядки акумуляторів електромобілів, на атомних електростанціях, гідроелектростанціях і електростанціях, що працюють на вугіллі, ПГ і інших не нафтових паливах.

З певною часткою умовності, до альтернативних моторних палив можна віднести нафтові палива, до складу яких введені різні компоненти і добавки не нафтового походження. До таких палив можуть бути віднесені сумішеві палива, тобто палива що містять низькомолекулярні спирти (метанол, етанол), а також такі компоненти, як прості ефіри (МТБЕ і ін.). Введення останніх в бензини допускається до 15 %, що дозволить економити таку ж кількість бензину або до 30 % нафти, приймаючи вихід бензинової фракції на рівні 50 %. Навіть при сучасному рівні виробництва МТБЕ близько 25 млн. тон в рік його використання дозволить заощадити близько 50 млн. тон нафти.

За кордоном (США, Бразилія) знайшли достатньо широке застосування палива, що містять до 95 % метанолу (М-95), 85 і 95 % етанолу (Е-85 і Е-95), в яких вміст бензину, що виконує по суті роль одоранта, складає всього 5-15 %. Широке використання таких палив дозволяє економити значні кількості нафти [2].

Введення до складу бензинів кисневмісних продуктів дозволяє істотно знижувати вміст ШР у відпрацьованих газах автомобілів. Таким чином, вирішуються два основні завдання – економія нафти і поліпшення екологічних властивостей.

Закон про енергетичну політику, прийнятий в США в 1992 р., встановлює, що до альтернативних транспортних палив відносяться ЗНГ, ПГ, суміші, що містять не менше 85 % спирту, водень і електроенергія.

Більш загальну класифікацію альтернативних палив можна розділити на три групи:

До першої групи віднесені нафтові палива з добавками не нафтового походження (спирти, ефіри і ін.), які по експлуатаційних властивостях близькі до традиційних нафтових палив.

До другої групи відносяться синтетичні рідкі палива, близькі по властивостях до традиційних нафтових палив, але отримувані при переробці газоподібної, твердої або рідкої сировини (ПГ, вугілля, горючі сланці, важкі нафти). Зокрема, переробка ПГ в синтез-газ і далі в метанол або вуглеводні, так звана технологія GTL (Gas to Liquid – газ в рідину).

До третьої групи входять не нафтові палива, що істотно відрізняються за фізико-хімічними і експлуатаційними властивостями від традиційних нафтових палив (спиртові палива, природний і попутний газ, водень і ін.).

При використанні перших двох груп альтернативних палив іноді виникає необхідність в незначній зміні паливної системи автомобіля. Використання палив третьої групи вимагає істотної модернізації паливної системи автомобіля.

Частина згаданих палив уже застосовується в обмежених масштабах як моторне паливо або паливо у вигляді сумішей. Виробництво цих палив у даний час порівняно з ПГ невелике. Збільшення виробництва, природно, вимагає збільшення

великих капітальних витрат. Окрім того не розвинута інфраструктура розподілу. Недоліками є велика маса (паливні елементи), висока вартість (паливні елементи, водень), недостатня надійність двигунів, що споживають ці палива. Використання метанолу і диметилефіру вимагають застосування абсолютно герметичних паливних систем.

Слід зазначити, що частина альтернативних палив відноситься до відновлюваних джерел енергії. Це, зокрема, справедливо для спиртів і рослинних олій. Деякі фахівці вважають застосування палив з відновлюваної сировини перспективним не тільки в зв'язку з їхньою відновлюваністю (досить швидкої для країн з відповідним кліматом), але і завдяки тому, що виробництво самої сировини зв'язано з поглинанням двооксиду вуглецю з атмосфери.

Застосування водню, крім високої вартості, стримується нерозв'язаністю низки технічних проблем. Утім, є відомості про виготовлення дослідних зразків автомобілів, що використовують паливні елементи, джерелом енергії в яких є водень. Ряд фірм рекламують можливість комерційного застосування автомобілів на паливних елементах.

З усіх перерахованих альтернативних палив ПГ, безумовно, є паливом найближчих десятиліть не тільки завдяки розвитку добування, але і доступності в багатьох регіонах країни, розвинутій транспортній мережі й інфраструктурі підготовки і заправлення ТЗ.

Природний газ, як моторне паливо та його характеристики

ПГ в основному складається із метану з домішками інших вуглеводнів і інертних газів. Приблизний склад природного газу характеризується наступними значеннями (% по об'єму); метан – 85-99; етан – 1,0-8,0; пропан, бутан – 0,5-3; азот – 0,5-0,7; двооксид вуглецю – 1,8 [3].

Фізико-хімічні показники вуглеводних газів, які входять до складу ЗНГ і ПГ та інших палив наведені в табл. 1.1 [4].

Розглянемо проблему використання ПГ системно, тобто з врахуванням взаємозв'язків і взаємозалежностей різних факторів: запаси енергетичних ресурсів; вплив на навколишнє середовище за життєвий цикл двигунів; економічність двигунів; питома маса двигуна разом з масою ємностей для збереження газу; надійність і моторесурс; технічна безпека; шумовипромінювання; пускові якості; мобільність і прийомистість двигунів.

Заміщення рідкого моторного палива ПГ набуває в світовій практиці високих темпів розвитку. Кількість газобалонних автомобілів в світі показано на рис. 1.1. Найбільше газобалонних автомобілів в Аргентині більше 1,2 млн.; в Бразилії - більше 790 тис.; у Пакистані - біля 500 тис.; в Італії - понад 400 тис.; у Індії – більше 200 тис.

Таблиця 1.1 – Фізико-хімічні показники палив

Фізико-хімічні властивості палив	ДП	ЗНГ	ПГ	Бензин
Масові частки елементів:				
Вуглець С	87,0	81,8	76,0	79,3
Водень Н	12,6	18,2	24,0	18
Кисень О	0,4	0	0	2,7
Сірка S	0,2	–	–	0,003
В'язкість кінематична при 20 °С, мм ² /с	3,8	–	–	0,71
Цетанове число	45	–	–	
Октанове число	-	101	110	72-84
Температура самозаймання при p = 1бар, °С	250	435,5	650	470-530
Температура застигання, °С	-35	–	–	-72
Теплота згоряння нижча Н _н , МДж/кг	42,5	45,7	50	44
Густина при 20 °С, кг/м ³	810...890	2,5	0,66	730

В Україні на даний час на ПГ працює 55 тис. автомобілів; побудовано 161 АГНКС, з яких 91 належать підприємствам НАК "Нафтогаз України", а 70 - іншим відомствам і приватним власникам. Кількість АГНКС, що забезпечують автомобілі ПГ показано на рис. 1.2 [5].

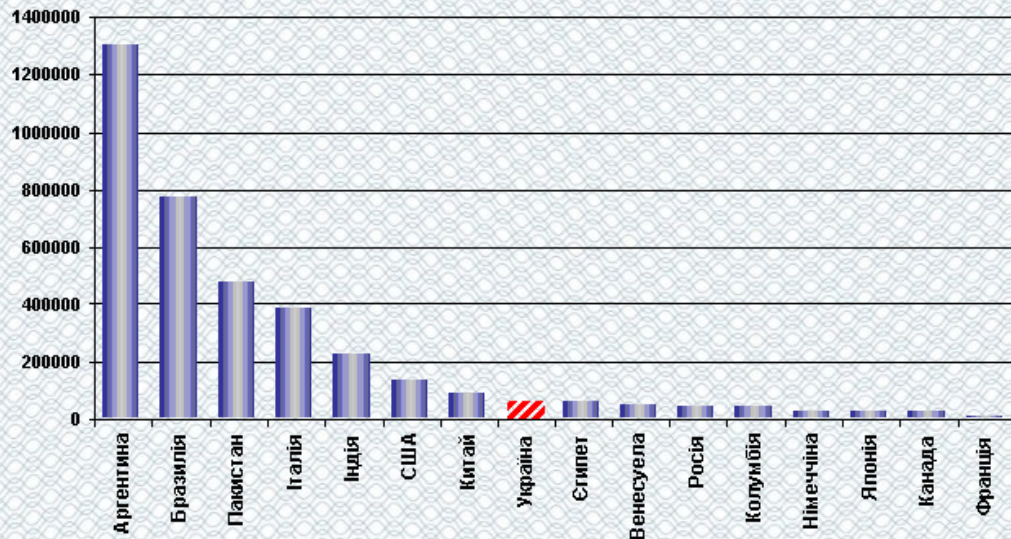


Рисунок 1.1 – Кількість газобалонних автомобілів, од.

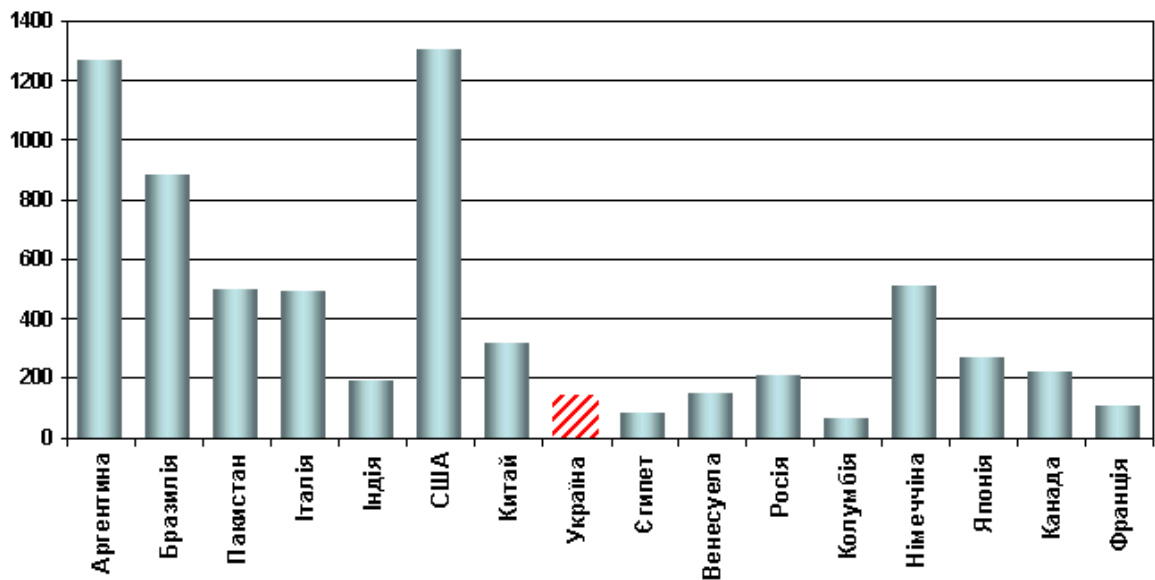


Рисунок 1.2 – Кількість АГНКС, що забезпечують автомобілі ПГ, од.

Слід зазначити, що в Україні є всі передумови для розвитку цього напрямку: налагоджено виробництво суцільнометалевих балонів на ВАТ "Бердичівський машинобудівний завод "Прогрес", виробництво АГНКС на заводах "Сумигазмаш" та ВАТ "Сумське машинобудівне НВО ім. М. Фрунзе". Розроблено конструкції паливної апаратури для різних типів двигунів, створена система сервісного обслуговування автомобілів, що працюють на ПГ. У структурі ДК

"Укртрансгаз" ведено в експлуатацію 2 сервісних центри в Носівці та Горлівці, ще 8 планується побудувати найближчим часом.

Крім станцій швидкого заправлення одержують у світі широке поширення станції для повільного (більш економічного) заправлення малої продуктивності, на яких здійснюється заправлення невеликого числа автомобілів у нічний час. Таких заправних пристроїв особливо багато в Канаді, Аргентині та США.

Слід, відзначити, що інтерес до ПГ неухильно зростає. Це зв'язано з рядом переваг, забезпечуваних при застосуванні ПГ як моторного палива:

- високі моторні властивості ПГ, зокрема, його октантові числа, забезпечують можливість використання високих ступенів стискання (до 14 у малорозмірних двигунах) і тому забезпечують більш високу економічність у порівнянні з бензиновими двигунами. Покращення паливної економічності порівняно з дизелями залежить від способу конвертації для роботи на ПГ;

- двигуни які працюють на ПГ в значно меншій кількості викидають газоподібні ШР. Екологічні показники різних типів двигунів наведені в табл. 1.2. За компонентами склад викидів ШР різних видів палива показано в табл. 1.3;

- при використанні ПГ істотно нижчі питомі викиди CO_2 , надмірна кількість якого в атмосфері порушує тепловий баланс унаслідок меншого інфрачервоного випромінювання в космос від поверхні землі [4].

- при використанні ПГ істотно знижуються витрати на паливо-мастильні матеріали;

- при використанні ПГ, як правило, збільшується моторесурс двигуна до капітального ремонту приблизно в 1,5 рази [4];

- при порівнянні з дизелем у газовому двигуні з іскровим запалюванням рівень шуму нижчий на 3-6 дБ;

- пускові якості двигунів, що живляться ПГ, кращі, ніж рідкопаливних двигунів.

В той же час ПГ як моторне паливо має недоліки, які на сьогодні обмежують масштаби його застосування.

Найбільш суттєвим недоліком ПГ є низька концентрація енергії в одиниці об'єму, яка майже в тисячу разів менша, ніж у рідкого нафтового палива. Це потребує зберігати газ на борту автомобіля в стиснутому (до 20 МПа і більше) або в зрідженому стані, а також необхідна густа мережа автомобільних газонаповнювальних копресорних станцій (АГНКС), де газ, який надходить газогонами, очищають, фільтрують і стискають до 25 МПа.

Таблиця 1.2 – Екологічні показники різних типів двигунів

Тип двигуна	Викиди ШР з відпрацьованими газами, г/км				
	СН	NO _x	SO ₂	CO	CO ₂
Бензиновий	1,03	0,6	0,32	3,27	238
Дизель	0,24	0,56	0,32	0,69	217
Газовий двигун	0,08	0,66	0,25	0,32	170

Таблиця 1.3 – Компонентний склад шкідливих речовин за видами палива

Вид палива	Шкідливі речовини, т						
	CO	C _m H _n	NO _x	C	SO ₂	Pb	Разом
Бензин	1344543,50	258687,93	85670,48	0,00	3493,19	15,28	1692410,38
Дизельне	98621,44	15852,48	54652,72	12656,42	9131,62	0,00	190914,68
ЗНГ	18155,86	3535,68	1108,87	0,00	16,96	0,00	22817,37
СПГ	16057,55	4347,56	2715,11	0,00	0,00	0,00	23120,22

Висока температура займання (більше 600⁰С) ПГ в суміші з повітрям затруднює пуск двигуна при низьких температурах. Експлуатаційні властивості ПГ суттєво змінюються з підвищенням вмісту вологи, яка може призвести до утворення кристало-гідратів газу в редукторі газобалонної установки автомобіля і припинення надходження палива в циліндри двигуна. Обмежений стандартом вміст води 9 мг/м³ відповідає точці роси – 30⁰С. Щоб забезпечити цю вимогу, ПГ перед заправкою в балони повинен піддаватися сушці.

Враховуючи особливість паливно-енергетичного балансу України, можна упевнено прогнозувати зростання труднощів із забезпеченням потреб автотранспорту у високооктанових бензинах і дизельному паливі. Єдиною

реальною альтернативою високооктановим бензинам є ПГ, широке впровадження якого як моторного палива дозволяє кардинально вирішити проблему забезпечення автотранспорту України у близькому майбутньому, водночас розв'язуючи проблему покращення екологічного стану.

Незважаючи на вказані недоліки, ПГ розглядається як альтернативний замінник нафтових палив, особливо завдяки можливості досягнення дуже низьких викидів ШР, що на сьогодні є надзвичайно актуальним.

Аналіз способів переобладнання двигунів для роботи на природному газі

Газобалонні автомобілі можна розділити на окремі групи за способом збереження газу на борту автомобіля і безпосередньо за типом енергетичної установки. На рис. 1.3 наведена класифікація автомобілів, на яких встановлені двигуни, що живляться ПГ.



Рисунок 1.3 – Класифікація переобладнання рідкопаливних двигунів на споживання

При використанні ПГ в стиснутому стані енергоємність системи зберігання визначається тиском газу, конструкцією і матеріалом газових балонів. Найбільше розповсюдження знайшли циліндричні балони із вуглецевої і легваної сталі. В цьому випадку для зберігання одного кубічного метра ПГ необхідно від трьох з половиною до п'яти кілограм маси балону, але останнім часом розроблені армовані склопластикові балони з масою в чотири рази меншою від сталевих. У разі застосування зрідженого газу він зберігається в спеціальних балонах при температурі - 162°C. Зберігання газу в рідкому стані забезпечується близькою до ідеальної теплоізоляцією завдяки створенню глибокого вакууму між двома оболонками балона. Однак, необхідно ввести в дію високопродуктивні заводи по скрапленню ПГ. Крім того, самі балони в даний час дуже дорогі.

Карбюраторні і, взагалі, бензинові двигуни можуть бути переобладнані на газове паливо шляхом встановлення нескладної паливної апаратури, що включає пристрої для зниження тиску газу і регулювання його витрати відповідно до режиму роботи двигуна.

Особливі труднощі викликає застосування газового палива на дизельних двигунах, що пов'язане з поганим самозайманням газового палива (для метану близько 537 °С, пропану - 510 °С і бутану - 480 °С). Для роботи дизельного двигуна на газовому паливі використовують наступні способи:

- додавання в газове паливо активуючих добавок, речовин з низькою температурою самозаймання типу нітратів або перекисів, що можливо тільки для ЗНГ;
- використання іскрового запалювання, що вимагає створення напруги на електродах до 25 кВ і більше; цей метод використовується на стаціонарних дизельних установках;
- застосування впорскування запальної дози дизельного палива, робота по, так званому, газодизельному режиму – газове паливо подається на початку, а в кінці такту стискання впорскується запальна доза дизельного палива; цей шлях не пов'язаний із зміною конструкції двигуна і вимагає мінімального переобладнання; недолік полягає у витраті, хоча і значно зменшеної кількості дизельного палива (на

автомобілі КАМАЗ-55118 витрата дизельного палива на 100 км. складає 28 л, а при газодизельному режимі - 7 л дизельного палива і 30 м³ стисненого ПГ).

Природно, що для зберігання газового палива на обох типах автомобілів потрібна установка спеціальних ємностей – балонів.

Переобладнання ТЗ на ПГ можна здійснювати шляхом:

- модифікації бензинових двигунів для роботи на ПГ;
- модифікації бензинових двигунів для роботи на ПГ і на бензині, тобто використання двох типів палив;
- переобладнання дизельних двигунів в газові з використанням іскрового запалювання;
- переобладнання дизельних двигунів з використанням двох типів палив, тобто поєднання газу і дизельного палива (газодизельний режим).

Система живлення автомобіля, що працює на ПГ (рис. 1.4), включає наступні елементи: газові балони високого тиску з вентилями, заправний пристрій із заправним вентиляем, газоредукційну апаратуру і підігрівач газу, газовий змішувач, магістральний вентиль (електромагнітний клапан), газовий фільтр.

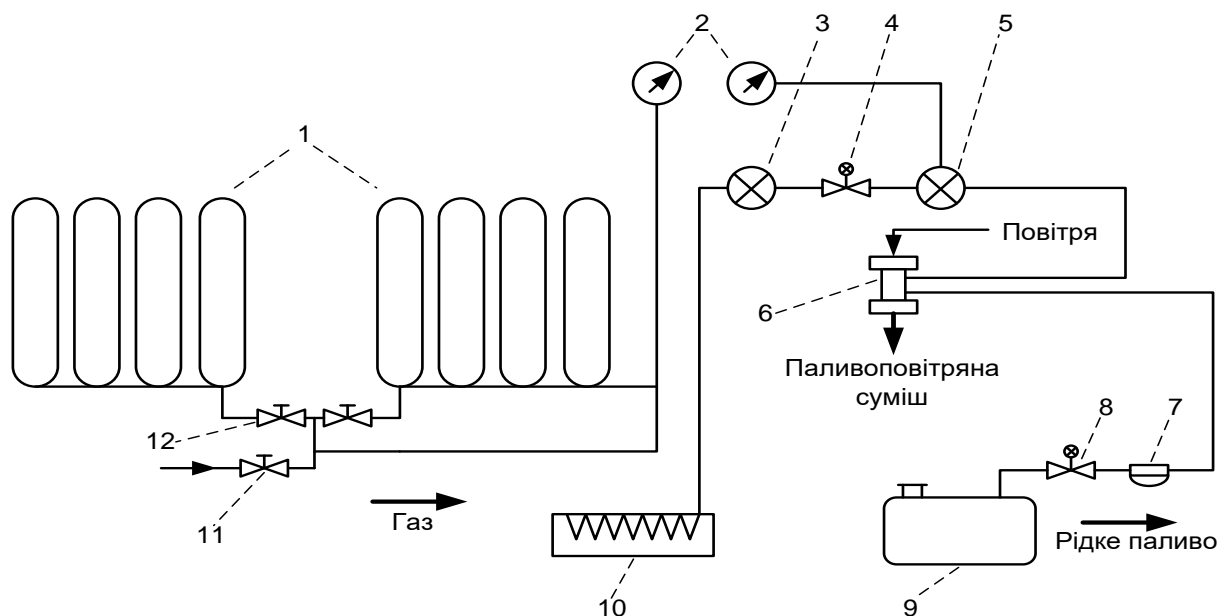


Рисунок 1.4 – Схема паливної системи газобалонного автомобіля: 1 – газові балони; 2 – манометр; 3, 5 – редуктори; 4, 8 – електромагнітні клапани; 6 – карбюратор-змішувач; 7 – паливний насос; 9 – паливний бак; 10 – теплообмінник; 11, 12 – вентиля

На двопаливних автомобілях встановлюють бак для нафтового палива,

електромагнітний бензиновий клапан (у карбюраторних двигунах) і перемикач виду палива.

В районах із надійним газопостачанням перспективним є використання однопаливних газових двигунів, оскільки в таких двигунах можна реалізувати високі антидетонаційні властивості ПГ. Найкраще для цієї мети підходять дизельні двигуни, оскільки вони мають великі значення ϵ і працюють в найбільш жорстких умовах.

Для роботи на газовому паливі переобладнуються, як правило, бензинові автомобілі, і лише деякі автомобілі з дизельними двигунами. Це може призвести до зменшення кількості газобалонних автомобілів, які експлуатуються в Україні, так як, нові вантажні автомобілі і автобуси комплектуються дизельними двигунами. Тому переобладнання дизелів в газові двигуни також дозволить збільшити ефективність використання існуючої мережі АГНКС.

Одним із ефективних напрямків розширення використання газового палива на автотранспорті є заміна дизелів на двигуни, які працюють на ПГ, що розглядається як ефективний спосіб покращення екологічної обстановки, особливо у великих містах. Конструктивно це здійснюється переобладнанням (конвертацією) дизеля на живлення ПГ за допомогою незначних доробок двигуна.

Створення провідними фірмами світу газових двигунів, які задовольняють найбільш жорстким нормам щодо шкідливих викидів, свідчить про переваги конвертації дизелів в газові двигуни.

В роботі [6] розглядається конструкція та результати випробувань двигуна на ПГ, конвертованого із дизеля В 5.9 фірми CUMMINS. На двигуні використана концепція “двигуна на бідних сумішах” з іскровим запалюванням та зовнішнім сумішоутворенням. Використання бідних сумішей забезпечує малі викиди NO_x , високу економічність без збільшення теплового навантаження деталей двигуна.

Двигун рядний, шестициліндровий, з робочим об'ємом 5,9 л. Свічки знаходяться приблизно в тому ж положенні, що і форсунка в дизелі. Використана електронна система запалювання без розподільника. Повітря після компресора охолоджується в проміжному охолоджувачі. В системі надуву передбачений

клапан перепуску газів мимо турбіни. Органи регулювання подачі газу та клапан перепуску газів мимо турбіни керуються електронною системою.

На рис. 1.5 показана схема електронної системи керування конвертованим двигуном B5.9G. Для керування використовується модифікований модуль керування дизелем, добре випробуваний фірмою на дизелях, призначених для тяжких умов роботи.

Газовий двигун має потужність 143,4 кВт при 2800 хв⁻¹. Запас крутного моменту близько 13%. За результатами випробувань газового двигуна найбільш високі значення ефективного ККД по зовнішній характеристиці дорівнює 0,367 при 1800 хв⁻¹. Без окислювального нейтралізатора двигун задовольняє вимогам LEV, а з нейтралізатором – нормам ULEV. Загальний пробіг в експлуатації дорівнює близько 160 000 км. Відмічається, що фірма може виготовляти не менше 100 газових двигунів в день.

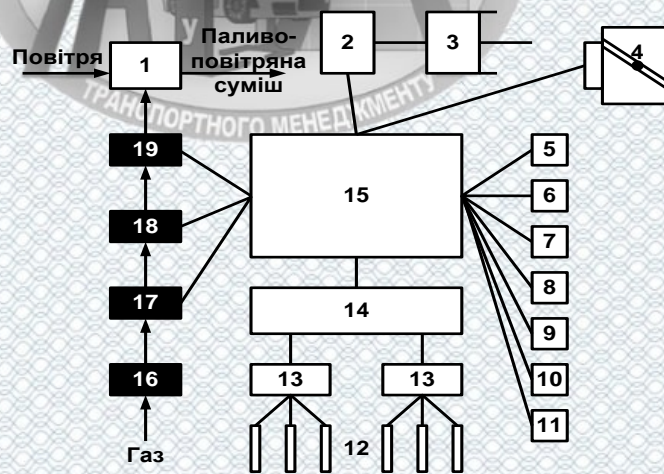


Рисунок 1.5 – Схема електронної системи керування двигуном B5.9G: 1 – змішувач; 2 – клапан перепуску газів мимо турбіни; 3 – виконуючий механізм; 4 – керування холостим ходом; 5 – датчик частоти; 6 – датчик тиску в впускному трубопроводі; 7 – датчик температури у випускному трубопроводі; 8 – датчик тиску на виході компресора; 9 – датчик температури охолоджуючої рідини; 10 – λ -зонд; 11 – датчик положення дросельної заслінки; 12 – свічки запалювання; 13 – індукційні котушки; 14 – модуль запалювання; 15 – блок керування двигуном; 16 – регулятор тиску; 17 – клапан відключення подачі газу; 18 – датчик масової витрати газу; 19 – клапан регулювання подачі газу

В роботі [7] розглядається розробка фірми NISSAN газового двигуна на базі рядного шестициліндрового дизеля з розмірами $S/D = 150/133$, який розвиває потужність 173 кВт при 2100 хв^{-1} . Замість тороїдальної камери згоряння використана плоска камера типу “Texas Dog Dish”, ступінь стискання знижена з 18 до 11, в кожному циліндрі розміщені по дві свічки запалювання. Базовий двигун без наддуву. Газовий двигун обладнаний газотурбінним наддувом з охолодженням наддувочного повітря.

При випробовуваннях газового двигуна без наддуву на стехіометричній суміші, температура відпрацьованих газів стала на 100° вище, ніж у базовому дизелі, що, як вважають автори, може знизити надійність двигунів. Максимальна потужність знизилась на 20%. При $\alpha = 1,35$ температура відпрацьованих газів в газовому двигуні є такою ж, як і в дизелі, але двигун розвиває потужність тільки 120 кВт.

При турбонаддуві були легко отримані значення потужності і максимального крутного моменту базового дизеля. Наведено порівняння екологічних показників дизеля і газового двигуна при 60% номінальної частоти обертання в функції потужності двигунів. У випадку газового двигуна на усіх режимах $\alpha = 1.55$. При малих значеннях зовнішнього навантаження температура відпрацьованих газів значно вище у випадку газового двигуна. Концентрації CO та C_mH_n вищі при живленні газом, але це компенсується значно меншою концентрацією NO_x .

З 1995 року німецька фірма Mercedes-Benz виробляє міські автобуси 0405NE і GNE, які працюють на ПГ [8]. На автобусах встановлений 6-циліндровий газовий двигун з іскровим запалюванням M477h, переобладнаний з дизеля OM477h. При цьому внесені такі конструктивні зміни і доповнення: переобладнання на електронну іскрову систему запалювання; зниження ступеня стискання до 12,5; установка 3-х котушок запалювання; застосування свічок запалювання з платиновим покриттям електродів; зміна головки циліндрів і впускного трубопроводу; підвищення термостійкості випускних клапанів; надійне газове обладнання. Вміст балонів 800 л, що достатньо дає пробігу 280 – 300 км. Ціна автобуса і експлуатаційні витрати на 12 – 15 % вищі, ніж у дизельного прототипу,

однак по величині шкідливих викидів двигун автобуса відповідає вимогам EURO – 2.

Італійська фірма IVECO [9] на базі свого шестициліндрового рядного дизеля 8460.21 з діаметром циліндра 120 мм і ходом поршня 140 мм з газотурбінним наддувом і охолодженням наддувочного повітря розробила газовий двигун моделі 8469.21 з іскровим запалюванням для вантажних автомобілів і автобусів.

В Нідерландах експлуатується міський автобус “Orion V” з газовим двигуном з іскровим запалюванням Cummins L10-260G [10].

Дослідженнями газового двигуна, переобладнаного з дизеля займаються і українські науковці. Зокрема, в Інституті проблем машинобудування НАН України створений дослідний зразок газового двигуна з іскровим запалюванням на базі тракторного дизеля Д-21А [11]. Ступінь стиску знизили до 9,5 доробкою поршнів. При роботі на природному газі досягнута номінальна потужність 18,4 кВт. Приведена паливна економічність на режимі номінальної потужності погіршилась на 11 % у порівнянні з базовим дизелем. Температура відпрацьованих газів підвищилась по всій зовнішній характеристиці, але є цілком допустимою для надійної роботи деталей камери згоряння. У відпрацьованих газах відсутня сажа та зменшились викиди оксидів азоту і оксидів вуглецю.

В Харківському Національному автодорожньому університеті на базі дизеля ЯМЗ-236 створено газовий двигун з іскровим запалюванням [12]. Для цього двигуна розробляється мікропроцесорне керування системами живлення та запалювання. Роботу такого двигуна можна забезпечити на дуже бідних горючих сумішах на режимах часткових навантажень. Це дозволить отримати високі екологічні та економічні показники. Однак, вартість такого двигуна є досить високою.

В Луцькому НТУ дизель Д-240 переобладнано для роботи на ПГ. Експериментальні дослідження переобладнаного з дизеля Д-240 газового двигуна підтвердили роботоздатність в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів з максимальною потужністю більшою на 1,98...4,3 % та еквівалентною

Також проводились дорожні випробування трактора МТЗ-80 з газовим двигуном та з причепом 2ПТС-4, який перевозив вантаж. Тракторний дизель було переобладнано в газовий двигун з іскровим запалюванням для роботи на ПГ [16, 17].

1.4 Аналіз методів оцінювання показників ТЗ при роботі на альтернативних паливах

Для оцінювання енергетичних, економічних та екологічних показників ТЗ існують експериментальні і розрахункові методи.

1.4.1 Експериментальні методи

Відповідно до ГОСТ 20306-90 [18] паливна економічність автомобіля оцінюється рядом контрольних показників витрати палива в л/100 км (контрольний, у магістральному циклі на дорозі, у міському циклі), паливною характеристикою сталого руху і паливно-швидкісною характеристикою на магістрально-горбистій дорозі.

Велику практичну цінність мають результати досліджень витрат палива серійних і дослідних моделей автомобілів у тривалих випробувальних пробігах і на типових маршрутах [19-21]. Вони характеризують спільний вплив великої сукупності випадкових чинників на паливну економічність автомобілів у реальних умовах експлуатації. Такі дані дозволяють виявити вплив часткового навантаження автомобіля, технічного стану агрегатів, нестабільності дорожніх умов і багатьох інших чинників, що важко описати аналітичними методами. Але проведення таких випробувань потребує великих витрат часу і коштів, а отримані таким чином дані можуть бути тільки частково використані при проектуванні автомобілів.

Поряд із паливною характеристикою усталеного руху для оцінки паливної економічності автомобіля використовують наступні показники [18]: контрольна витрата палива; паливна характеристика на дорозі зі змінним поздовжнім профілем; середня витрата палива.

Аналіз перших двох показників показує, що вони характеризують паливну економічність автомобіля в окремих часткових режимах руху. Найбільш загальним показником можна вважати середню витрату палива і відповідну характеристику, яка запропонована у роботі [22].

Поряд з оціночними показниками паливної економічності за ГОСТ 20306-90 [18] і галузевими нормативними документами паливну економічність автомобіля розглядають у типових дорожніх умовах. За діючим у цей час стандартом для оцінки паливної економічності легкових автомобілів використовують значення витрати палива, л/100 км, у їздовому (міському) циклі, а також при русі по шосе зі швидкостями 90 і 120 км/ч. Технічний рівень конструкції автомобілів по кожному з цих параметрів порівнювати зручно, проте встановити, якою буде витрата палива у процесі експлуатації автомобіля вони не дозволяють. Щоб повніше оцінити паливну економічність автомобіля, пропонується використовувати третій параметр - так звану квазіексплуатаційну, тобто осереднену витрату палива, що враховує витрати палива в різноманітних умовах руху і яка пропорційна пробігу автомобіля в цих умовах. При підрахунку цього параметра припускають, що пробіг в умовах міст середньої смуги нашої країни складає біля 52,5% від пробігу автомобіля за весь термін експлуатації, а іншу частину складе пробіг на шосе та в інших специфічних дорожніх умовах.

Такий же підхід до визначення витрати палива легковим автомобілем запропоновано і Директивою EWG, згідно з якою витрата палива визначається у міському циклі, при русі у позаміському циклі зі швидкостями 90 і 120 км/год, а також середня витрата палива із трьох розглянутих режимів руху, причому доля міського циклу у середній витраті палива переважає два інших режими [23].

Більш широке використання середньої витрати палива як показника паливної економічності автомобіля пропонувалося також авторами робіт [24-33]. У

працях [26, 31, 33] рекомендовано оцінювати паливну економічність автомобіля середньою витратою палива при нормальному експлуатаційному режимі руху в різноманітних дорожніх умовах при різному корисному навантаженні автомобіля. У роботі [32] для оцінки паливної економічності автомобілів застосовується ряд осереднених і середньовиважених показників, за якими потім визначається "базисна" витрата палива. Під "базисною" витратою палива розуміється середньовиважена витрата палива, що отримана у стабільних умовах руху автотранспортних засобів (горизонтальна дорога з твердим покриттям, заданий швидкісний режим і т.п.), при заїздах по магістральному і міському їздових циклах, які імітують реальні експлуатаційні режими руху. Співвідношення часток витрати палива у циклах визначається за коефіцієнтами вагомості, що являють собою відношення пробігів у міських і магістральних умовах до загального пробігу автомобіля в експлуатації, прийнятому за одиницю. Із "базисною" витратою тісно пов'язана середньоінтегральна витрата палива, що визначається у л/100 км за весь цикл випробувань автомобіля.

З аналізу літературних джерел видно, що середні витрати палива, що названі як осереднені, середньовиважені, "базисні" середньоінтегральні, квазіексплуатаційні застосовують для попередньої оцінки конструктивних заходів, що направлені на покращення паливної економічності автомобіля, а також для контролю стабільності продукції, що виготовляється тим чи іншим підприємством. Крім того, використання показників у вигляді середніх витрат палива не тільки дозволяє більш точно оцінювати рівень паливної економічності по відношенню до різних дорожньо-експлуатаційних умов використання автомобіля, але й забезпечує більш обґрунтоване нормування експлуатаційної витрати палива.

Методи експериментальної оцінки токсичності ТЗ та транспортних двигунів описані в ряді відповідних стандартів [34-41]. Існуючі в теперішній час стандарти можна розділити на дві групи: такі, що стосуються токсичності нових ТЗ та їх двигунів та такі, що нормують параметри токсичності ТЗ, які контролюються в процесі експлуатації. До першої групи відносяться Правила 15 та 83 ЄЕК ООН, ОСТ 37.001.054-86, FTP-75 (США), що оцінюють викиди в г на км пробігу та

поширюються на нову продукцію автомобільної промисловості та передбачають проведення випробувань для автомобілів повною масою до 3,5 (2,5 ЄЕК ООН) т (автобусів кількістю місць не більше 12) на стендах з біговими барабанами по спеціальному їздовому циклу, що імітують рух автомобіля в міських умовах (та магістральних – ЄЕК ООН 83) умовах. При офіційному затвердженні моделі ТЗ за Правилами 83 ЄЕК ООН, крім випробувань по їздовому циклу (з холодним пуском двигуна) оцінюються викиди CO з ВГ при роботі двигуна в режимі холостого ходу, картерних газів (на трьох режимах), вуглеводнів при випаровуванні з системи живлення автомобіля, а також проводиться контроль надійності протитоксичних систем в процесі пробігу 80 тис.км.

Пробігові викиди всіх інших типів нових ТЗ експериментально не оцінюються, а нормуванню підлягають викиди двигунів, що призначені для цих автомобілів.

При стендових випробуваннях двигунів великовантажних автомобілів заміри виконуються на декількох стаціонарних режимах, що обумовлені методикою даного нормативного документу. Кожному режиму присвоюється свій коефіцієнт вагомості, що відображає вірогідність роботи двигуна на цьому режимі в реальних умовах руху. В підсумку, дається узагальнююча інтегральна оцінка токсичності двигуна по всіх режимах, виражена в масі токсичної речовини на одиницю роботи (г/(кВт·год)). Дизелі випробовуються на моторних стендах за 13-ступеневим випробувальним циклом (Правила 49 ЄЕК ООН або ОСТ 37.001.234-81).

Отримання оцінок питомих викидів CO , $C_m H_n$ і NO_x двигунів з іскровим запалюванням автомобілів повною масою більше 3,5 т (в г/(кВт·год)) встановлює ОСТ 37.001.070-75 за результатами узагальнення 9-режимного випробувального циклу.

В процесі експлуатації контролюються ті параметри токсичності, визначення яких не потребує складного обладнання та може бути реалізоване в межах АТП або сервісних станцій. Для ТЗ з бензиновими двигунами нормується вміст окису вуглецю у ВГ при роботі в режимі холостого ходу (ГОСТ 17.2.2.03-87). Для автомобільних дизелів та автомобілів з дизельними двигунами існують обмеження

на димність ВГ на режимах вільного прискорення та максимальної частоти обертання (ГОСТ 21393-75).

Аналіз вищезазначених документів показує, що лише при випробуваннях в міських циклах (Правила 15 та 83 ЄЕК ООН, ОСТ 37.001.054-86, FTP-75) враховується взаємний вплив параметрів двигуна, агрегатів трансмісії ТЗ та вплив неусталених режимів руху автомобіля на результати випробувань. Таке положення викликано тим, що для стендових випробувань великовантажних автомобілів і автобусів з подібними режимами навантаження стендове обладнання поки що не розроблено, а у випадку проведення дорожніх випробувань сучасна переносна газоаналітична апаратура має недопустимо велику похибку.

Результати проведених випробувань по режимометруванню двигунів вантажівок в умовах міського руху в Європі показали низьку показовість 13-ти ступеневого циклу, в зв'язку з чим в теперішній час проводяться роботи щодо створення більш показового випробувального циклу.

Відомо також, що на режими роботи двигуна впливають не тільки умови руху автомобіля (параметри їздового циклу), але також і параметри самого автомобіля та режими керування двигуном та трансмісією. Вимога стандарту виконувати заміри при випробуваннях в строго фіксованих точках по частоті обертання та навантаженню не дозволяє оцінити ступінь узгодженості характеристик системи „двигун – трансмісія – автомобіль – їздовий цикл”.

Проведення замірів при стендових випробуваннях двигуна на усталених режимах не дозволяє оцінити вплив неусталених режимів на величину шкідливих викидів. Необхідно відмітити, що діючий в США випробувальний цикл для двигунів великовантажних автомобілів позбавлений цього недоліку, оскільки по методиці цих випробувань двигун працює на режимах, що змінюються в часі по частоті обертання та навантаженню одночасно (фахівцями США відмічається також хороша показність даного циклу). Однак, відмічається висока вартість випробувальної апаратури, що необхідна для реалізації даної методики.

Вищезазначені недоліки стендових випробувань двигунів на токсичність призводять до того, що результатом трудомісткої підготовки обладнання та об'єкту

випробувань до замірів концентрацій токсичної речовини у ВГ є зовсім неінформативний показник, придатний лише для порівняння з встановленим нормативом. Декілька збільшує обсяг корисної інформації наявність роздрукованих протоколів випробувань, де відображуються значення концентрацій токсичних речовин в 11-ти (або 9-ти) точках багатопараметрової характеристики двигуна. Однак їх недостатньо, щоб побудувати таку характеристику повністю з прийнятною точністю. А саме багатопараметрові характеристики двигуна давали б найбільший обсяг інформації про досконалість конструкції двигуна, а також могли б бути вихідним матеріалом для вибору тієї чи іншої марки двигуна до використання в складі певної конструкції ДТЗ.

Однак, разом з недоліками, випробування двигунів на стендах, а не в складі ТЗ, дає певні переваги. Річ іде про точність та достовірність отриманих результатів. Проведення замірів концентрацій на моторних стендах дозволяє, з одного боку, використовувати найбільш точне вимірювальне обладнання та стабілізувати умови випробувань, а з іншого – виключити з низки факторів, що формують похибку результатів, параметри, що не відносяться саме до двигуна.

Аналіз існуючих методик показує, що їздові цикли, які широко застосовуються при випробуваннях ТЗ на паливну економічність і токсичність, найбільш повно відображають реальні експлуатаційні умови. Вони складаються із послідовних циклів, які включають розгін, рух із сталою швидкістю, сповільнення і роботу двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу.

Проте обладнання для випробування автомобілів за їздовими циклами дуже складне і має високу вартість, процес підготовки випробування займає значний період часу, тому такі випробування проводять на заключному етапі досліджень або під час перевірки рівня серійної продукції.

Тому останнім часом широко використовується розрахункові методи для оцінки економічних і екологічних показників ТЗ із застосуванням експериментальних характеристик двигунів.

1.4.2 Розрахункові методи

Сучасний стан автомобілебудування потребує подальшого розвитку і створення нових імітаційних моделей витрати палива та забруднюючих викидів, що більш повно відображають типові експлуатаційні умови руху автомобілів. В основу таких моделей покладено визначення середньої витрати палива та викидів автомобілем на заданому узагальненому маршруті, про що неодноразово згадувалося у розглянутих вище літературних джерелах.

При створенні нових моделей автомобілів здійснюється пошук можливостей поліпшення показників їх паливної економічності шляхом раціонального вибору конструктивних параметрів з урахуванням типових дорожніх і кліматичних умов експлуатації. Через те, що паливна економічність автомобіля в експлуатаційних умовах залежить від великої кількості різноманітних факторів, їх класифікують по групам у залежності від напрямку і мети досліджень. Наприклад, для моделювання руху автомобіля параметри, що входять в систему "автомобіль-водій-дорога", умовно розділені на конструктивні, дорожні, режимні. У роботі [42] фактори, що впливають на паливну економічність автомобіля в експлуатаційних умовах, розділені на п'ять груп: перша – фактори, що визначають конструктивні особливості автомобіля, друга – дорожні умови, третя – кваліфікація водія, четверта – особливості транспортного потоку і п'ята – кліматичні умови і їх вплив на експлуатаційні режими роботи агрегатів автомобілів.

Дорожні умови і режими руху, що регламентуються, при оцінці паливної економічності автомобілів не цілком відображають типові експлуатаційні режими роботи автотранспортних засобів різного призначення. Внаслідок цього, як встановлено багаторічними випробуваннями автомобілів по їздовому циклу відповідно до Правил №15 ЕЭК ООН, одержувані дані по витраті палива значно відрізняються від даних, зафіксованих у реальних умовах експлуатації. Крім того, обумовлені за ГОСТ 20306-90 показники паливної економічності ДТЗ не дозволяють із достатньою повнотою судити про очікувані витрати палива цими автомобілями в різноманітних дорожніх умовах експлуатації в залежності від змінюваної швидкості руху або завантаження.

На сьогодні наріла необхідність на різних стадіях конструювання автомобілів здійснювати багатоваріантні розрахунки і проводити порівняльний аналіз показників паливної економічності з урахуванням конкретних дорожніх умов і режимів руху, типових для регулярної експлуатації. Такий аналіз буде сприяти поліпшенню якості перспективних моделей автомобілів, завдяки більш раціональному вибору базових параметрів, прогресивних конструкцій вузлів і агрегатів. Цим визначається доцільність і актуальність подальшого розвитку методів оцінки паливної економічності та екологічних показників ТЗ за узагальненими критеріями із створенням удосконалених методик їхнього розрахункового визначення на ПК.

У багатьох дослідженнях основним оціночним показником паливної економічності автомобіля прийнята витрата палива Q , л/100 км, що визначається за паливно-економічними характеристиками в залежності від швидкості руху. У роботах [43, 44] цей показник визначається у функції від ефективної питомої витрати палива двигуна g_e , г/(кВт год), і витрат ефективної потужності двигуна N_e , кВт, на подолання зовнішніх опорів руху автомобіля.

При аналізі показника Q і визначення впливу різноманітних чинників на витрату палива найбільше широко використовуються залежності, що засновані на рівнянні потужнісного балансу автомобіля.

Для одержання достовірних величин витрати палива автомобілем велике значення має обґрунтована оцінка паливної економічності двигуна, зокрема, його питомої ефективної витрати палива g_e . Для підвищення точності визначення показників паливної економічності і швидкісних властивостей автомобілів безпосередньо використовуються експериментальні швидкісні і навантажувальні характеристики двигунів, що апроксимуються за допомогою поліномів. Вихідними даними при цьому слугують швидкісна зовнішня, часткові і навантажувальні характеристики двигуна, подані таблицями та графіками. Завдяки математичному опрацюванню експериментальних даних на ПК досягається висока точність їхньої апроксимації з перевіркою за статистичними критеріями. Такий

метод представлення характеристик різних типів двигунів ТЗ застосовується надалі у дослідженні.

Показник Q визначають при відомому значенні швидкості руху V_a автомобіля, тому точність її визначення істотно впливає на оцінку паливної економічності. Відомо, що розрахункова швидкість V_a може перевищувати величину, можливу до реалізації за тягово-швидкісними властивостями автомобіля в заданих умовах руху. Різноманітні способи обчислення швидкості V_a за умов найбільш повної реалізації цих властивостей переважно поширені в сучасних методиках оцінки витрати палива автомобілем. Але при цьому не враховується вплив ряду істотних чинників, що вимушено обмежують повну реалізацію швидкісних властивостей автомобіля. Внаслідок цього, у розрахунку витрати палива не відображені зміни експлуатаційних швидкостей руху автомобілів і її типові обмеження. Водночас урахування таких обмежень, поряд з аналізом граничних тягових і швидкісних можливостей автомобіля, є необхідною вимогою для більш точного опису дорожньо-експлуатаційних умов. Слід зазначити, що утруднена також і оцінка впливу швидкості руху на витрату палива за паливно-економічною характеристикою, оскільки вона відповідає режиму руху автомобіля на вищих передачах із сталими швидкостями по горизонтальній дорозі, що рідко спостерігається в експлуатаційних умовах.

Показник Q_s витрати палива широко використовується в аналітичних і експериментальних дослідженнях паливної економічності різних типів ДТЗ. Сучасні методи розрахунків витрати палива засновані на застосуванні різноманітних математичних моделей руху автомобіля й обчислювальної техніки.

У вітчизняній практиці для оцінки шкідливих викидів автотранспортом використовуються в основному три розрахункових методи. Один з них заснований на визначенні маси викидів окремих домішок у ВГ ДТЗ на одиницю моторного палива, що витрачається в реальних умовах експлуатації.

Математичні моделі, що використовуються для оцінки питомих (на одиницю пробігу) викидів шкідливих речовин при русі ТЗ, можна розділити на дві групи. До першої входять імітаційні моделі, основані на розв'язанні диференційного

рівняння, що описує рух ТЗ по дорозі, в яких як вихідні дані використовуються отримані експериментально багатопараметрові характеристики двигунів. До другої – лінійні або нелінійні моделі оцінки пробігових викидів ТЗ, основані на описанні зв'язку вхідних та вихідних показників відповідною системою алгебраїчних рівнянь. Одні та інші, як правило, реалізуються з використанням обчислювальної техніки. Всі ці моделі є настроюваними і тому мають досить високу достовірність. Розбіжності між ними пов'язані перш за все з колом тих задач, для вирішення яких розроблялися конкретні моделі.

Застосування розрахунково-експериментальних методів на базі сучасної обчислювальної техніки сприяє вирішенню більшості практичних задач щодо аналізу і оцінки тих чи інших конструктивних чи експлуатаційних заходів, направлених на покращення економічних та екологічних показників транспортних засобів.

1.5 Загальна характеристика автотранспортного підрозділу комунального підприємства «Вінницяоблводоканал»

Комунальне підприємство «Вінницяоблводоканал» знаходиться за адресою м. Вінниця, вул. Київська, 173.

КП „Вінницяоблводоканал” має в своєму складі: головне підприємство, розташоване у м. Вінниці, та 12 відокремлених підрозділів в містах Бершадь, Гайсин, Ямпіль, Жмеринка, Калинівка, Хмільник, Іллінці та смт Тростянець, Крижопіль, Томашпіль, Липовець, Турбів й надає послуги по забезпеченню споживачів питною водою, водовідведенням та очищенням стічних вод по м. Вінниці та Вінницькій області.

Джерелом централізованого водопостачання міст Вінниця, Калинівка та Хмільник – є річка Південний Буг, решта районних центрів забезпечуються водою з підземних джерел.

Для забезпечення основної діяльності КП «Вінницяоблводоканал», на ньому організовано автотранспортний підрозділ (АП) , який підпорядковується безпосередньо головному інженеру.

АП в своїй роботі керується правилами технічної експлуатації, правилами дорожнього руху, розпорядженнями керівництва КП «Вінницяоблводоканал». Основною задачею АП є забезпечення нормативного випуску необхідних автотранспортних засобів, землерийної техніки, відкачуючих засобів та інших агрегатів.

Основні функції гаража автотранспортного підрозділу:

1. Забезпечує автотранспортом, землерийною технікою та відкачуючими засобами цеха об'єднання.
2. Проводить поточний ремонт автомобілів та іншої техніки.
3. Приймає участь в роботі по раціоналізації та винахідництву.
4. Добивається економії паливно-мастильних матеріалів.
5. Підтримує в справному стані відкачуючі засоби аварійних машин, компресорів та інших агрегатів.
6. Проводить технічний огляд всієї техніки, яка належить гаражу.
7. Беззаперечно виконує правила дорожнього руху.
8. Добивається мінімального холостого автопробігу та використовує автотранспорт тільки в виробничих цілях.

Начальник автотранспортного підрозділу несе відповідальність за охорону праці, техніку безпеки, за виконання обов'язків покладених на гараж, представляє підприємство по розпорядженню керівництва в державних закладах, громадських та інших організаціях, пов'язаних з роботою автотранспорту. Може вимагати надання необхідної документації та інформації від підрозділів підприємства та подавати пропозиції керівництву «Вінницяоблводоканал» про заохочення передових працівників і про необхідність накладання стягнень на працівників за порушення виробничої і трудової санітарії.

На підприємстві, робота автомобілів враховується в годинах. Рухомий склад підприємства досить специфічний. Це пов'язано з основними напрямками

функціонування підприємства. Основні транспортні засоби, які використовує "Вінницяоблводоканал" є автомобілі спеціального призначення і легкові автомобілі котрі занесені в таблицю 1.4

В таблиці 1.5 подано віковий розподіл рухомого складу, а в таблиці 1.6 – розподіл за видами палива, яке використовується.

Таблиця 1.4 – Наявність автотранспорту на кінець 2014 року

Марка модель	Рік вип.	дв.	Тип пал.	Навантаження	Прим.
ГАЗ 53А			дизель		фургон-С
ГАЗ 6611			бензин		фургон-С
ГАЗ 3307			бен/газ		фургон-С
ГАЗ 3307			бензин		фургон-С
ГАЗ 5301			бензин		фургон-С
ГАЗ 2705			бензин		ван/пас-В
ГАЗ 2705			бензин		ван/пас- В
ЗИЛ 130			бензин		фургон-С
ЗИЛ 130			бен/газ		цистерна-С
ЗИЛ 431412 ЗНГ			бен/газ		цистерна-С
ЗИЛ 130			бен/газ		цистерна-С
КАМАЗ 53213 КО			дизель		цистерна-С
ЗИЛ 130					
ГАЗ 3307			бензин		фургон-С
ГАЗ 2705			бензин		ван/пас-В
ГАЗ 2705			бензин		ван/пас-В
ГАЗ 2705			бензин		ван/пас-В
ЗИЛ 130			бензин		цистерна-С
ЗИЛ 431412			бензин		цистерна-С
КАМАЗ 55102			дизель		самоскид-С

Продовження таблиці. 1.4

ГАЗ 33021			бензин		фургон-В
ГАЗ 27051			бензин		ван/пас-В
1АЧ ГАЗ 51А			дизель		автобус-Д
ГАЗ 53			бензин		цистерна-С

ЗИЛ 130 ІЛ			бензин газ		цистерн. асеназ.-С
ГАЗ 5201			бензин		фургон-С
ГАЗ 2705			бензин		ван/пас-В
ЗИЛ ММЗ 4502			бензин		самоскид-С
КАМАЗ 5511			дизель		самоскид-С
ГАЗ 5227			бен/газ		фургон-С
ГАЗ 31029			бензин		седан-В
ЗИЛ 130			бензин		цистерна-С
ГАЗ 3307 ЗНГ			бен/газ		Бортов.-С
ГАЗ 5201			бензин		фургон-С
ГАЗ 5201			бензин		фургон-С
ГАЗ 52			бензин		фургон-С
ГАЗ 53			бензин		фургон-С
ГАЗ 6611			бензин		фургон-С
ГАЗ 6611			бензин		фургон-С
ГАЗ 5201			бензин		фургон-С
ЗИЛ 431412			бензин		фургон-С
КАВЗ 685			бензин		автобус-Д
			бензин		комби-В
ГАЗ 31029			бензин		седан-В
УАЗ 3962			бензин		фургон-В
РАФ 220301			бензин		ван/пас-В
ИЖ 27175			бензин		ван/пас-В
ИЖ 27175			бензин		ван/пас-В
УАЗ 452			бензин		фургон-В
УАЗ 452					
ГАЗ 2705			бензин		ван/пас-В
ИЖ 27175			бензин		ван/пас-В
ИЖ 27175			бензин		ван/пас-В

Продовження таблиці. 1.4

ИЖ 27175			бензин		ван/пас-В
ГАЗ 31029			бензин		седан-В
			бензин		седан-В

KIA Cerato			бензин		седан-В
ВАЗ 21213			бензин		універсал-В
ВАЗ 21099			бензин		седан-В
ВАЗ 21053			бензин		седан-В
ВАЗ 21213			бензин		універсал-В
ГАЗ 3221			бензин		Пас.- В
ИЖ 2715					
ЗИЛ 431410			бензин		цистерна-С
ГАЗ 5227			бенз/газ		бортовий-С
ЗИЛ 431412			бенз/газ		борт-С
ЗИЛ ММЗ 45021			бензин		самоскид-С
ЗИЛ ММЗ 4502			бензин		самоскид-С
ЗИЛ ММЗ 45021			бензин		самоскид-С
ЗИЛ ММЗ 45022			бензин		самоскид-С
ЗИЛ ММЗ 45022			бензин		самоскид-С
ЗИЛ ММЗ 45021			бензин		самоскид-С

Таблиця 1.5 – Групування власних автомобілів залежно від часу перебування в експлуатації

Тип автомобіля	Всього	До 3 років включно	Від 3,1 до 8 років включно	Від 8,1 до 10 років включно	Більше 10 років
Вантажні	44	–	–	–	44
Вантажо-пасажирські	15	–	12	–	3
Автобуси	3	–	–	–	3
Легкові автомобілі	10	–	2	–	8
Автомобілі – всього	72	–	14	–	58

Таблиця 1.6 – Групування автомобілів за конструкцією, яка дозволяє використовувати паливо (незалежно від фактичного використання палива)

Тип автомобіля	Всього	В тому числі за видами палива					
		тільки бензин	тільки дизпаливо	зріджений газ	стиснений газ	зріджений газ і бензин	дизпаливо та стиснений природний газ
Вантажні	44	30	4	–	–	10	–

Вантажо-пасажирські	15	15	–	–	–	–	–
Автобуси	3	2	1	–	–	–	–
Легкові автомобілі	10	10	–	–	–	–	–
Разом	72	57	5	–	–	10	–

Аналізуючи дані таблиці 1.5 приходимо до висновку, що майже всі транспортні засоби перебувають в експлуатації достатньо тривалий час, а це вимагає додаткових заходів на підтримку їх в технічно справному стані.

В даний час автотранспортний підрозділ КП «Вінницяводоканал» нараховує на своєму балансі 72 одиниці рухомого складу. Усі автотранспортні засоби можна умовно розподілити за такими групами: ІЖ-27175 – 16 одиниць; ГАЗ 2705 – 14 одиниць; ГАЗ-3307 – 21 одиниця; ЗІЛ-ММЗ-4502 – 21 одиниця.

П'ятдесят вісім одиниць рухомого складу перебуває в експлуатації більше 10 років, чотирнадцять одиниць – від 3 до 8 років.

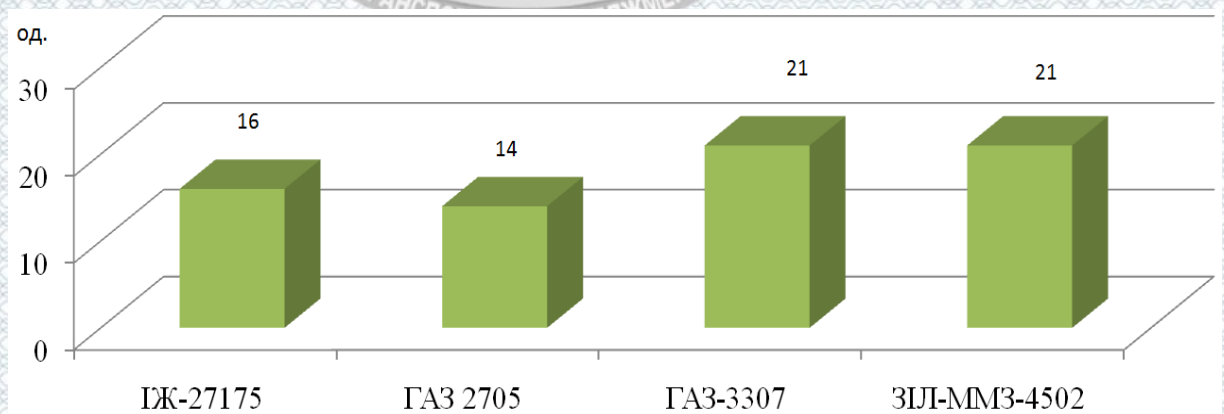


Рисунок 1.6 – Розподіл автомобілів на технологічно-сумісні групи

Комунальне підприємство „Вінницяоблводоканал” є самостійним господарюючим суб’єктом, яке має права юридичної особи і здійснює виробничу та комерційну діяльність, надає послуги організаціям, підприємствам, установам та населенню з метою отримання прибутку.

Підприємство є спільною комунальною власністю територіальних громад Вінницької області, управління якою здійснює Вінницька обласна Рада – орган управління майном.

В своїй діяльності керується чинним законодавством України та Статутом, який взято на облік та перереєстрований (нова редакція) Вінницькою міською Радою 18.08.2009 р., Реєстраційний № 11741050012003042.

Комунальне підприємство „Вінницяоблводоканал” входить до переліку підприємств та організацій, що займають монопольне становище на ринках Вінницької області.

Форма власності – комунальна.

Головною діяльністю підприємства „Вінницяоблводоканал” є виробництво та реалізація питної води населенню, підприємствам та організаціям м. Вінниці та області, а також приймання від них стічних вод.

Автотранспортний підрозділ підприємства створено для задоволення власних потреб, а оскільки дане підприємство є ще й монополістом, він немає прямих конкурентів в сфері діяльності за призначенням.

В процесі своєї діяльності АП КП «Вінницяоблводоканал» має контакти з такими аудиторіями: органи місцевого самоврядування, фінансові установи, органи держкомприроди і екології.

На території „Вінницяоблводоканал” розташовані такі будівлі та споруди: адміністративно-побутовий корпус, головний виробничий корпус (в якому розташований гараж), майстерня для ремонту, контрольно-пропускний пункт, склад матеріалів і обладнання, склад ГСМ, відкритий склад труд і обладнання, відкритий склад будівельних матеріалів, склад хлора, естокада для мийки автомобілів, відкрита площадка для стоянки вантажних автомобілів.

До головного виробничого корпусу прибудований адміністративний корпус. В головному виробничому корпусі розташовані такі дільниці, зони та пости: моторна, шиномонтажна і вулканізаційна дільниця, агрегатна, електротехнічна, зварювально-бляхарська, арматурна, ковальсько-ресорна, пости ТО та ПР, закрита стоянка, агрегатний склад

Зона ТО обладнані оглядовими канавами, а зона ПР підйомниками. По даних підприємства складемо таблицю, яка відображає забезпеченість виробничих зон та ділень площами та технологічним обладнанням. Характеристика зон та ділень наведена в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 – Характеристика існуючих зон та ділень

Назва зони або ділень	Площі, м ²	Забезпеченість обладнанням, %
1	2	3
Моторна ділень	33	40
Шиномонтажна і вулканізаційна ділень	47	35
Агрегатна ділень	46	35
Електротехнічна ділень	48	70
Пости ТО	172	35
Закрита стоянка	330	
Агрегатний склад	108	
Зварювально-бляхарська, арматурна ділень	47	70
Ковальсько - ресорна ділень	47	25
Пости ПР	112	20

Так як підприємство має значну кількість автомобілів, а умови для їх ремонту відсутні. Тому будемо впроваджувати нові технології, щоб створити кращі умови для обслуговування автотранспорту. При створенні нових умов обслуговування можна надавати послуги іншим підприємствам, а також приватним особам.

1.6 Висновки до розділу 1

Річке зростання кількості рухомого складу автомобільного транспорту, обмежений запас нафти на земній кулі і збільшення споживання рідкого палива на транспорті приводить до подорожчання як сирової нафти, так і одержуваних з її

нафтопродуктів. Тим часом в світі є великі запаси високоякісного моторного палива, це – ПГ.

ПГ має кращі фізико-хімічні властивості і екологічні показники порівняно з паливом нафтового походження, що обумовлює його використання на автомобільному транспорті.

Переобладнання ТЗ на ПГ здійснюється шляхом: модифікації бензинових двигунів для роботи на ПГ; модифікації бензинових двигунів для роботи на ПГ і на бензині, тобто використання двох типів палив; переобладнання дизельних двигунів в газіві з використанням іскрового запалювання; переобладнання дизельних двигунів з використанням двох типів палив, тобто поєднання газу і дизельного палива (газодизельний режим).

Проведено аналіз попередніх досліджень щодо методів оцінювання показників ТЗ при роботі на альтернативних паливах. Для оцінювання енергетичних, економічних та екологічних показників ТЗ існують експериментальні і розрахункові методи.

Наведено характеристику транспортного підрозділу КП «Вінницяоблводоканал». Проведено аналіз рухомого складу та виробничо технічної бази підприємства.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ПРИ РОБОТІ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА

2.1 Вибір їздового циклу для оцінки паливної економічності та екологічних показників переобладнаних автомобілів для роботи на природному газі

Досить важливим питанням під час досліджень покращення паливної економічності та зменшення викидів ШР з відпрацьованими газами є вибір і обґрунтування типу їздового циклу, який з високою точністю імітував би режими руху автомобіля в експлуатаційних умовах.

Існує багато різновидів їздових циклів, які призначені для різних типів транспортних засобів і поділяються за складністю виконання, універсальністю та показниками, що визначаються. Одними з перших таких випробувальних циклів, за допомогою яких визначалась паливна економічність вантажних автомобілів, стали цикли ФНКТІД (рис. 2.1) та ЦНІАП (рис. 2.2). Як можна бачити з графічного представлення даних випробувальних циклів, найбільшу питому вагу в них мають сталі режими – коли автомобіль рухається з постійною швидкістю або двигун працює в режимі холостого ходу.

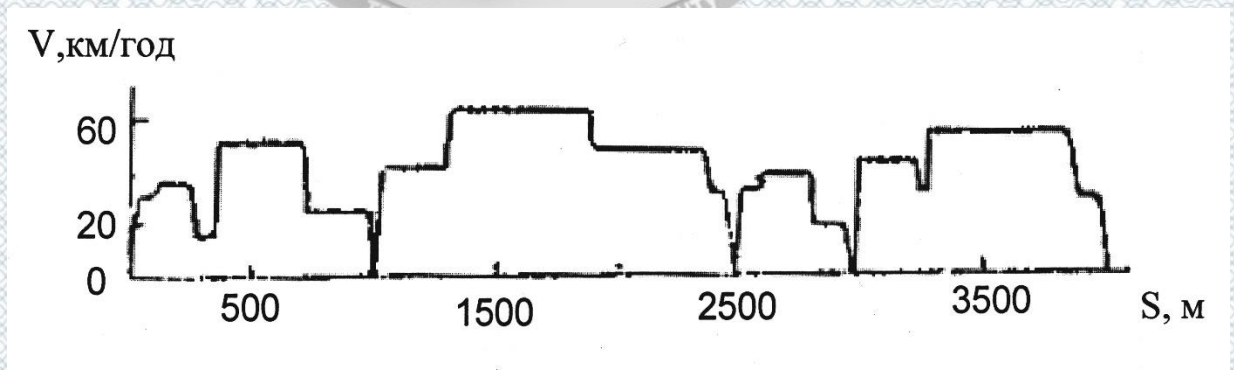


Рисунок 2.1 – Їздовий цикл для випробування вантажних автомобілів на паливну економічність, розроблений ФНКТІД [45]

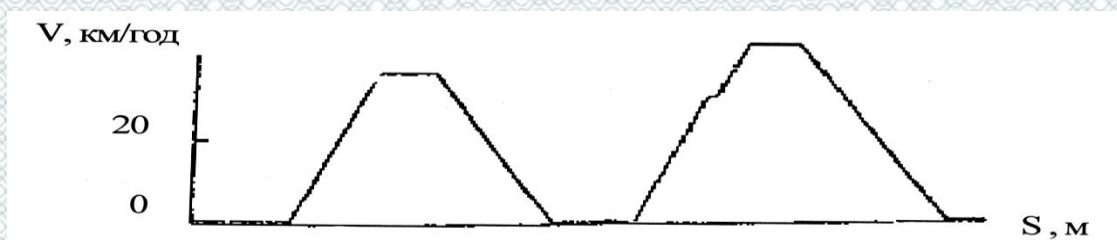


Рисунок 2.2 – Їздовий цикл ЦНІАП для визначення паливної економічності вантажних автомобілів [46]

Поряд з визначенням паливної економічності автомобілів дуже важливим питанням є визначення екологічних показників ТЗ, що являється частиною системи нормування викидів ШР двигунами ТЗ. В умовах експлуатації перевірка відповідності ТЗ нормам на шкідливі викиди проводиться за роботи двигунів в окремих режимах, які є найбільш характерними для експлуатації. Як правило, екологічні показники невеликих ТЗ перевіряються при випробуванні даних транспортних засобів на стендах тягових якостей, а ТЗ великої вантажопідйомності та пасажиромісткості – при випробуванні їх двигунів на гальмівних стендах, при чому режими роботи двигуна задаються відповідно до режимів вибраного їздового циклу.

Багато країн у всьому світі мають свої їздові цикли для випробування ДТЗ, але найбільшого поширення здобули цикли які розроблені та діють в США, Японії та в країнах Європейського Союзу [98].

Для Сполучених Штатів Америки характерним є цикл, представлений на рис. 2.3.

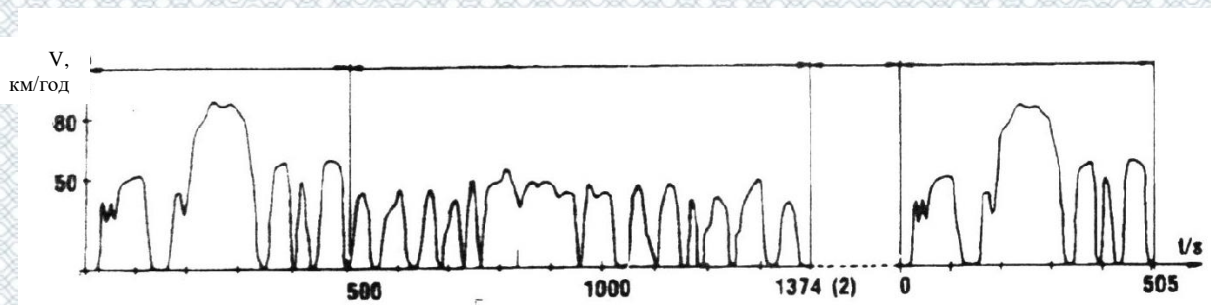


Рисунок 2.3 – Міський федеральний випробувальний цикл США

За ним проводяться випробування легкових автомобілів та легких вантажівок. Довжина умовного шляху в даному циклі – 17,8 км, час його виконання – 1877 с, максимальна швидкість циклу становить 91,2 км/год, а середня – 34,1 км/год. Відмінною особливістю цього випробувального циклу є майже повна відсутність сталих режимів руху, що найбільш характерно для транспортних засобів з автоматичними коробками переключення передач.

В Японії для випробування транспортних засобів з числом пасажирів менше 10 і масою менше 2,5 т застосовуються два цикли: 11- режимний холодний цикл та 10-15- режимний гарячий цикл.

На рис. 2.4 наведено одинадцятирежимний цикл без попереднього прогріву двигуна. Кожна фаза циклу протяжністю 1,021 км має тривалість виконання 120 с. Максимальна швидкість складає 60 км/год, а середня – 30,6 км/год.

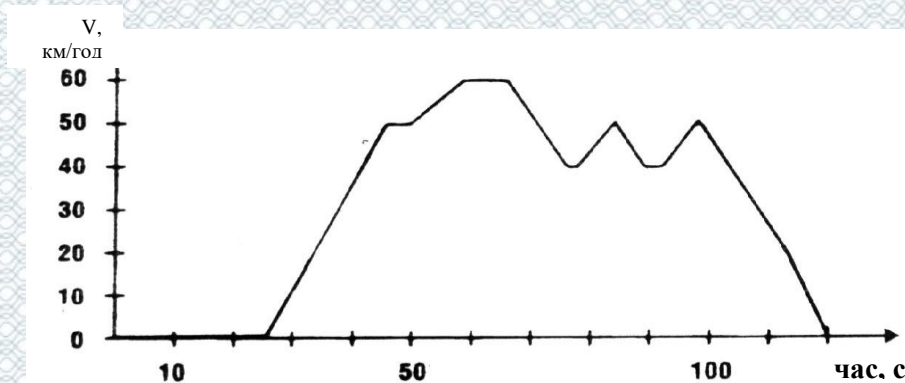


Рисунок 2.4 – Одинадцятирежимний випробувальний цикл (Японія)

Суттєво відрізняється від попереднього, як за режимами руху так і за іншими параметрами, 10-15- режимний цикл гарячих випробувань, який зображено на рис. 2.5. Його протяжність становить 4,16 км, час виконання – 660 с, максимальна швидкість – 70 км/год, середня – 22,7 км/год.

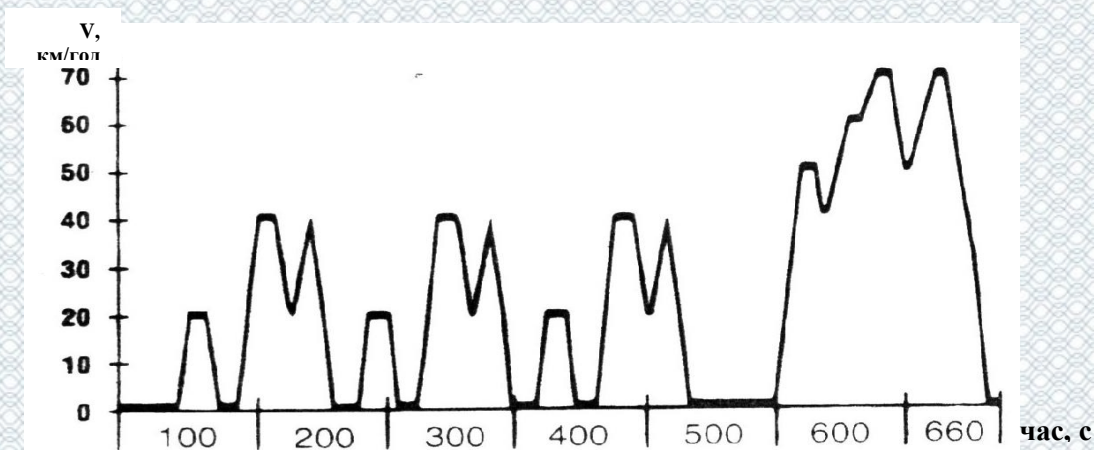


Рисунок 2.5 – 10-15 режимний їздовий цикл гарячих випробувань

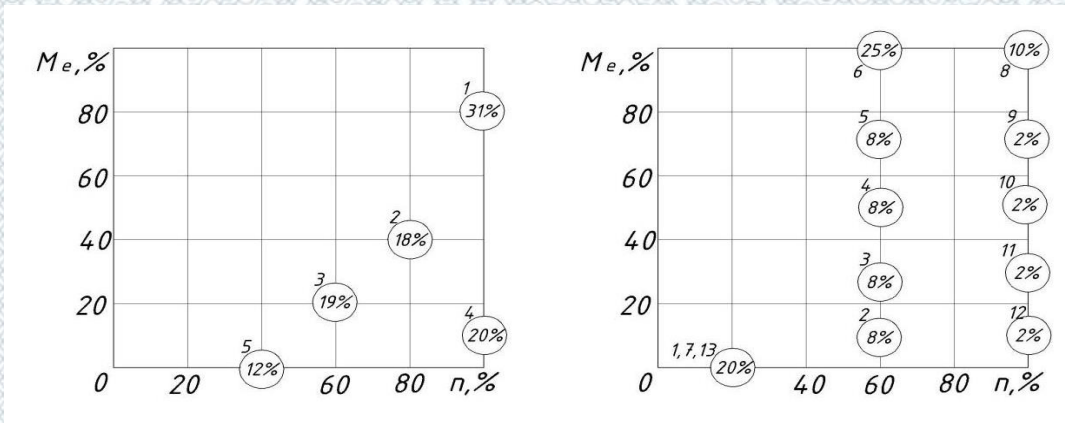
У Німеччині розроблений п'ятирежимний випробувальний цикл, що стосується двигунів сільськогосподарської техніки (рис. 2.6, а). Основним

режимом цього циклу (31 % часу роботи) є режим з номінальною частотою обертання і високим навантаженням (близько 85% від повного навантаження). Досліджується і режим холостого ходу при частоті обертання колінчастого валу $n = 0,4$ пном (12% часу роботи). Цей цикл не узаконений, але у ряді випадків він використовується для оцінки токсичності дизелів сільськогосподарських тракторів.

У Європі дизельні двигуни вантажних автомобілів вантажопідйомністю більше 3,5 т до 2000 р. випробовувались в стендових умовах на сталих режимах, відповідних режимам 13-ступінчастого циклу ECE R49 (рис. 2.6, б). Цей випробувальний цикл включає 13 сталих режимів: три режими холостого ходу з мінімальною частотою обертання колінчастого валу двигуна $n = 0,25-0,3$ пном (всього 25% часу роботи), п'ять режимів (10, 25, 50, 75, 100% навантаження) навантажень при номінальній частоті обертання пном і п'ять режимів (10, 25, 50, 75, 100% навантаження) навантажень при частоті обертання $n_{M_{max}}=0,6-0,7$ пном, відповідної максимальному крутному моменту двигуна. Частка номінального режиму складає 10% від загального часу роботи двигуна. В кінці кожного з режимів тривалістю 10 хв. визначаються середні значення концентрацій NO_x , CO , C_mH_n , TC у ВГ і ефективна потужність N_e .

При оцінці інтегральної токсичності ВГ двигуна на режимах такого 13-ступінчастого циклу на кожному режимі визначаються концентрації у ВГ токсичних компонентів і розраховуються їх годинні масові викиди. Отримані значення шкідливих викидів підсумовують за весь цикл по кожному компоненту і потім розподілом на умовну середню потужність дизеля за випробувальний цикл визначають питомі викиди шкідливих.

Отримані значення питомих викидів токсичних компонентів, віднесені до одиниці виробленої потужності порівнюються з гранично допустимими нормами.



а

б

Рисунок 2.6 – Стаціонарні цикли, що використовуються для оцінки токсичності ВГ двигунів в стендових умовах: а – п’ятирежимний цикл для дизелів сільськогосподарських тракторів (Німеччина); б – європейський цикл (норми ЕСЕ R49)

Для умов України більш близькими є їздові цикли, які застосовуються в більшості країн Європи. Для прикладу можна навести міський їздовий цикл (рис. 2.7). Цей цикл набув чинності з 1970 року, з якого розпочалось нормування викидів ШР ДТЗ після прийняття Правил ЄЕК ООН №15 та Директиви ЄС 70/220. За даним циклом на стенді з біговими барабанами здійснюються випробування ТЗ, які призначені для перевезення пасажирів і мають, крім місця водія, не більше восьми сидячих місць, та ТЗ, які призначені для перевезення вантажів, максимальна маса яких не перевищує 3,5 т.

Цикл, включає чотири ідентичних набори режимів загальною довжиною 4,052 км, часом виконання 820 с, максимальною швидкістю 50 км/год та середньою – 18,7 км/год.

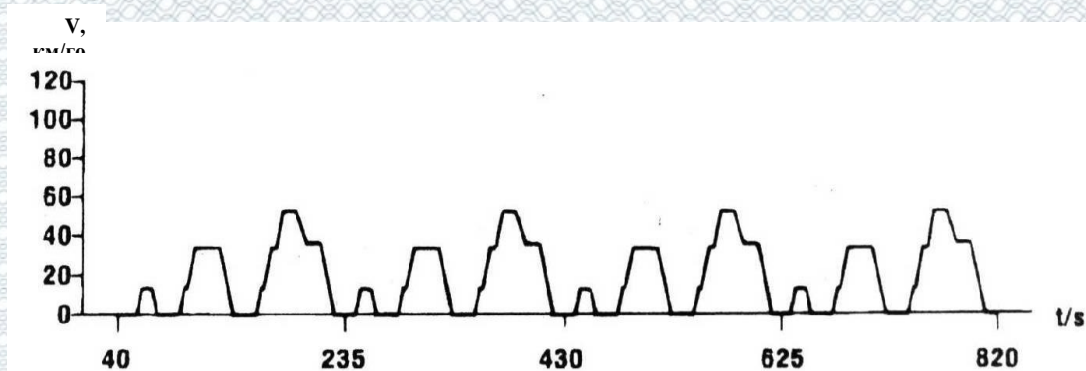


Рисунок 2.7 – Схема міського випробувального циклу згідно з Правилами ЄЕК №15

т
а

Останнім часом країнами-членами ЄС застосовується для визначення екологічних показників легкових автомобілів та легких вантажівок випробувальний цикл, який складається з чотирьох звичайних міських циклів (ECE) та додаткового циклу (EUDC що імітує рух автомобіля за містом

На відміну від міського циклу ЄЕК, даний цикл має збільшений умовний та час його виконання, які відповідно склали 11,007 км та 1220 с. Максимальна швидкість зросла до 120 км/год (для ТЗ з двигунами невеликої потужності до 90 км/год), середня швидкість становить 33,6 км/год.

Як згадувалося вище, екологічні показники вантажних автомобілів визначаються шляхом випробування двигунів таких ТЗ на гальмівних стендах. Як правило, їздові цикли, за якими проводяться подібні випробування, складаються з ряду швидкісних і навантажувальних режимів, заданих відносними частотою обертання колінчастого валу двигуна, розрідженням у впускному трубопроводі, часом та вагомістю режиму в експлуатації. Для ТЗ з бензиновими двигунами з цією метою використовується ОСТ.37.001.070-75 “Двигатели бензиновые грузовых автомобилей и автобусов. Выделение вредных веществ. Методы определения” [49].

Методику дослідження експлуатаційних властивостей транспортних засобів у системі «водій-автомобіль-дорога» було розроблено в НТУ [51]. Їздовий цикл до цієї методики зображено на рис. 2.8. Методика дозволяє досліджувати вплив керування з боку водія, параметрів транспортного засобу і двигуна та характеристики дороги на паливну економічність та шкідливі викиди в прийнятому їздовому циклі.

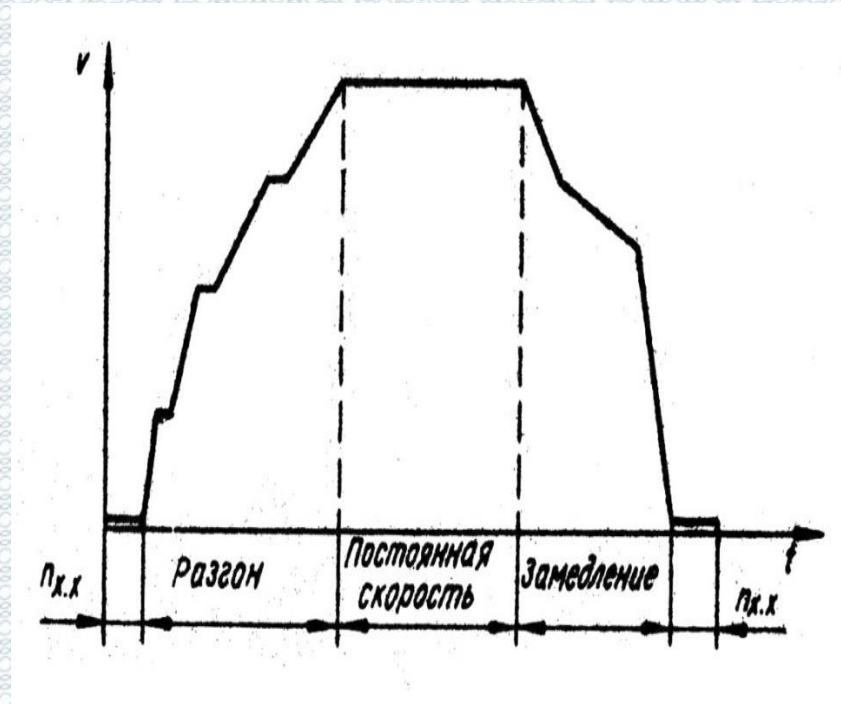


Рисунок 2.8 – Цикл руху автомобіля в системі «водій–автомобіль–дорога»

На територію України поширюється дія ГОСТ 20306-90 «Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний» [50], згідно з яким визначається паливна економічність усіх автотранспортних засобів (АТЗ), за

винятком позадорожніх. Даний стандарт діє з 1 січня 1992 року та по частині 1.4 (визначення витрати палива у міському циклі на стенді) співпадає з міським циклом ЄЕК (рис. 2.9).

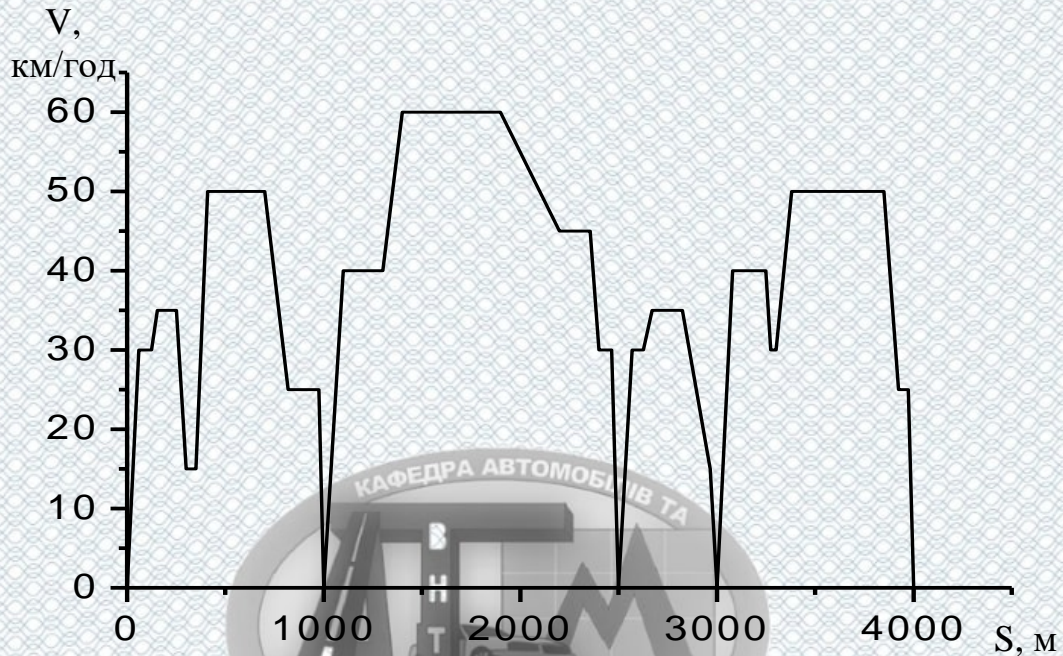


Рисунок 2.9 – Схема міського циклу на дорозі для ТЗ повною масою більше 3,5 т, крім автобусів [49].

Державний стандарт 20306-90 складається з шести їздових циклів: магістральний цикл на дорозі для автомобілів повною масою до 3,5 т і автобусів дальнього слідування; магістральний цикл на дорозі для вантажних автомобілів повною масою більше 3,5 т і міжміських автобусів; міський цикл на дорозі для АТЗ повною масою до 3,5 т; міський цикл на дорозі для АТЗ повною масою більше 3,5 т, крім міських автобусів; міський цикл на дорозі для міських автобусів; міський цикл на стенді для АТЗ повною масою до 3,5 т. Як відомо, найбільше шкоди оточуючому середовищу ТЗ завдає в місті та в прилеглих районах, оскільки в такому випадку рух автомобіля носить циклічний характер, а його двигун працює в неусталених режимах, внаслідок чого збільшуються викиди ШР з ВГ.

Тому, враховуючи вимоги ГОСТ 20306-90 для даного класу, типу автомобіля, умов його експлуатації для проведення дорожніх випробувань автомобілів ГАЗ-

ЗАЗ-3307 та ГАЗ-3309, який є об'єктом теоретичних досліджень, та оцінки і порівняння показників ТЗ було вирішено використати міський цикл на дорозі для ТЗ повною масою більше 3,5 т, крім автобусів. Схему циклу зображено на рис. 2.11. Вимоги до виконання наведено в [49]. До цього циклу входить 27 послідовних операцій, які здійснюються на відстані 4 км, максимальна швидкість обмежена діючими Правилами дорожнього руху в населених пунктах на рівні 60 км/год.

Аналіз існуючих способів визначення екологічних показників та паливної економічності ТЗ і методів випробувань показує, що даний цикл найбільш адекватно відображає експлуатаційні умови в Україні, найкраще підходить для дослідження основних показників роботи ТЗ та імітації руху автомобіля на математичній моделі з метою оцінки його екологічної безпеки та паливної економічності.

Таким чином, визначення і оцінка паливної економічності, та викидів ШПР автомобіля при живленні різними паливами (бензином, дизельним паливом і ПГ) здійснювалися за наступною методикою: на математичній моделі імітувався рух автомобіля по дорозі з асфальтобетонним покриттям за вибраним їздовим циклом (рис. 2.11), під час чого в кожний момент циклу визначалися режими роботи двигуна, виходячи з яких, за характеристиками, визначеними експериментально, з урахуванням виду палива та особливостей роботи двигуна в неусталених режимах було розраховано паливну економічність, викиди ШПР на елементарній ділянці, у відповідному режимі та в цілому за весь цикл руху ТЗ.

2.2 Математичне моделювання руху вантажного автомобіля

Математична модель – це спрощене зображення в математичній формі найбільш суттєвих сторін реальної фізичної системи. Модель представляє собою сукупність математичних виразів, які описують процес функціонування технічних систем і дозволяють оцінити її якість.

На першому етапі дослідник аналізує реальну ситуацію і виділяє проблему (задачу), яку треба вирішити. Стосовно будь-якої технічної системи вирішення цієї

проблеми (задачі) можливо шляхом удосконалення існуючої або синтезу нової, більш прогресивної системи. Для системи „транспортний засіб” проблемою є забезпечення її екологічної безпеки та паливної економічності, вирішення якої можливо шляхом підвищення технічного рівня її складових елементів.

Процес постановки проблеми полягає в схематизації (ідеалізації) емпіричної ситуації, тобто виділенні основних або суттєвих особливостей технічної системи чи явища. Наступний крок полягає в перекладі цих особливостей на мову математичних понять і величин і визначенні співвідношень між ними. Після уточнення математичної моделі здійснюють перевірку її адекватності, тобто здатності відображати властивості технічної системи з похибкою не вище заданої. Рівняння та інші математичні співвідношення, сформульовані в моделі, постійно співставляються з початковою ситуацією. Математична основа моделі не повинна мати протиріч і підпорядковуватись всім звичним законам математичної логіки. Справедливість моделі залежить від її здатності адекватно описувати реальну систему. При цьому, як правило, адекватність моделі має місце лише в обмеженій області зміни зовнішніх змінних – області адекватності.

Головна мета побудови та уточнення математичної моделі – необхідність передбачити певні результати явища чи властивості модельованої технічної системи.

До математичних моделей висуваються вимоги універсальності і точності.

Математична модель системи «транспортний засіб» представлена низкою диференціальних і алгебраїчних рівнянь, що описують закономірності зміни швидкості автомобіля, витрати палива і викидів ШР на кожній елементарній ділянці їздового циклу.

Вхідними параметрами математичної моделі прийнята величина φ_{dp} і швидкість V_{dp} відкриття дросельних заслінок карбюратора або газового змішувача, передаточне число U_i коробки передач, час переключення передач t_{cki} і частота обертання двигуна n_o , при якій водій включає більш високу передачу при розгоні.

Задані водієм φ_{dp}, V_{dp} і n_{∂} визначають розрідження у впускному трубопроводі Δp_k . Розрідженням у впускному трубопроводі і частотою обертання визначаються режими роботи двигуна, годинні витрати палива G_n і повітря $G_{нов}$, вміст у відпрацьованих газах окису вуглецю CO , вуглеводнів $C_m H_n$ і окисів азоту NO_x , двоокисів вуглецю CO_2 .

Вихідним параметром двигуна є крутний момент M_k , величина якого при заданому водієм положенні дросельних заслінок визначається умовами на виході: характеристиками дороги (подовжній ухил i , коефіцієнт опору коченню коліс автомобіля f), власною масою автомобіля M_o і масою вантажу M_g , обраної водієм передачі U_i , фактором опору повітря kF , тому що ці умови визначають швидкість руху автомобіля і, відповідно, частоту обертання двигуна [51].

Вихідним параметром моделі є транспортна продуктивність Π (ткм·год).

Масові викиди шкідливих речовин і витрата палива віднесені до 1 км пройденного шляху ($g_{CO}, g_{CH}, g_{NO_x}, g_{CO_2}$ і g_n) і до 1 ткм транспортної роботи ($g'_{CO}, g'_{CH}, g'_{NO_x}, g'_{CO_2}$ і g'_n).

2.2.1 Основні рівняння математичної моделі

Ефективний крутний момент M_k при роботі двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу $n_{min_{xx}}$ дорівнює нулю.

Рушання автомобіля складається з двох етапів:

а) Розгін двигуна від мінімальної частоти обертання холостого ходу $n_{min_{xx}}$ до частоти $n_{\partial o}$, при якій відбувається включення зчеплення, описується рівняннями:

$$\frac{dn_{\partial}}{dt} = M_k(n_{\partial}; \Delta p_k; \alpha) \cdot \frac{30}{I_{\partial} \cdot \pi}, \quad (2.1)$$

$$\varphi_{\partial p} = \varphi_{\partial p \min} + V_{\partial p} \cdot t, \quad (2.2)$$

$$\varphi_{\partial p o} = C + C_1 \cdot (n_{\partial o} - n_{\min_{xx}}), \quad (2.3)$$

де $\frac{dn_{\partial}}{dt}$ – прискорення колінчастого вала двигуна, $\text{хв}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$;

$M_k(n_{\partial}; \Delta p_k; \alpha)$ – ефективний крутний момент двигуна, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

I_{∂} – момент інерції двигуна, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$\varphi_{\partial p}$ – положення дросельних заслінок в процесі розгону, %;

$\varphi_{\partial p \min}$ – положення дросельних заслінок при мінімальній частоті обертання холостого ходу, %;

$V_{\partial p}$ – швидкість відкриття дросельних заслінок, %/с;

t – поточне значення часу, с;

$\varphi_{\partial p o}$ – кінцеве положення дросельних заслінок, що відповідає частоті $n_{\partial o}$;

C і C_1 – дослідні коефіцієнти.

Ефективний крутний момент M_k визначається за залежностями:

при $\varphi_{\partial p} < 100\%$;

$$M_k = f(n_{\partial}; \Delta p_k), \quad (2.4)$$

при $\varphi_{\partial p} = 100\%$;

$$M_k = f_1 + f_2 \cdot n_{\partial} + f_3 \cdot n_{\partial}^2, \quad (2.5)$$

де f_1, f_2, f_3 – дослідні коефіцієнти;

Δp_k – розрідження у впускному трубопроводі, кПа .

Розрідження у впускному трубопроводі визначається як функція від частоти обертання n_{∂} і положення дросельних заслінок $\varphi_{\partial p}$:

$$\Delta p_k = f(n_{\partial}; \varphi_{\partial p}). \quad (2.6)$$

Рівняння (2.1) розв'язується числовим інтегруванням методом Рунге-Кутта [51]. Розрахунок за залежністю (2.1) проводиться до заданого значення $n_{\partial o}$ з інтервалом по часу Δt .

б) Рушання автомобіля із зчепленням, що пробуксовує (від $n_{\partial o}$ до $n_{\partial} = n_c$), описується системою рівнянь:

– в період відкриття дросельних заслінок

$$\frac{dn_{\partial}}{dt} = (M_{kH} - M_3) \cdot \frac{30}{I_{\partial} \cdot \pi}, \quad (2.7)$$

$$\frac{dn_3}{dt} = (M_3 - M_{on}) \cdot \frac{30}{I_{aui} \cdot \pi}, \quad (2.8)$$

– після закінчення переміщення дросельних заслінок

$$\frac{dn_{\partial}}{dt} = (M_k(n_{\partial}; \Delta p_k) - M_3) \cdot \frac{30}{(I_{\partial} + \lambda) \cdot \pi}, \quad (2.9)$$

$$\frac{dn_3}{dt} = (M_3 - M_{on}) \cdot \frac{30}{I_{aui} \cdot \pi}, \quad (2.10)$$

де M_{kH} – крутний момент двигуна в неусталеному режимі, який пов'язаний із зміною частоти обертання двигуна, $H \cdot m$;

M_3 – момент тертя зчеплення, $H \cdot m$;

M_{on} – момент опору руху автомобіля, $H \cdot m$;

λ – експериментальний коефіцієнт неусталеного режиму;

I_{aui} – момент інерції зчеплення з врахуванням сполучених з ним мас автомобіля, які рухаються, приведених до зчеплення, $kg \cdot m^2$.

Крутний момент двигуна під час роботи в неусталеному режимі визначаються за формулою:

$$M_{kn} = M_{ky} - \lambda \cdot \frac{dn_d}{dt} \cdot \frac{\pi}{30}, \quad (2.11)$$

де M_{ky} – крутний момент двигуна в усталеному режимі, $H \cdot м$.

Час відкриття дросельних заслінок визначається за формулою:

$$t_{dp} = \frac{t_{dpki} - t_{dpvi}}{V_{dp}}, \quad (2.12)$$

де t_{dp} – час відкриття дросельних заслінок, $с$;

t_{dpki} – кінцеве значення відкриття дросельних заслінок на i -тій передачі;

t_{dpvi} – початок відкриття дросельних заслінок на i -тій передачі, $с$.

Момент тертя під час включення зчеплення визначається з рівняння:

$$M_3 = V_3 \cdot (t - t_{xx}), \quad (2.13)$$

де V_3 – швидкість наростання тертя зчеплення, $H \cdot м / с$;

t_{xx} – час розгону двигуна в режимі холостого ходу від $n_{min_{xx}}$ до частоти n_{do} , $с$;

Після включення зчеплення момент тертя розраховується за залежністю:

$$M_{3max} = \beta \cdot M_{kmax}, \quad (2.14)$$

де β – коефіцієнт запасу зчеплення;

M_{kmax} – максимальний крутний момент двигуна, $H \cdot м$.

Момент опору руху автомобіля визначається за формулою:

$$M_{on} = \frac{(M_o + M_e) \cdot (f_o \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) \cdot r_o \cdot g}{U_i \cdot U_p}, \quad (2.15)$$

де M_o і M_e – маса відповідно автомобіля і вантажу, кг;

f_o – коефіцієнт опору коченню;

α – кут підйому (спуску) повздовжнього профілю дороги, град;

r_o – динамічний радіус колеса, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

U_i – передаточне число i -тої передачі;

U_p – передаточне число головної передачі.

Момент інерції зчеплення з врахуванням сполучених з ним мас автомобіля, що рухаються, приведені до зчеплення, визначається з рівняння:

$$I_{aui} = \frac{(M_o + M_e) \cdot r_k^2}{U_i \cdot U_p} + \sum_{i=1}^n \frac{I_{ki}}{U_i^2 \cdot U_p^2}, \quad (2.16)$$

де r_k – радіус кочення колеса автомобіля, м;

I_{ki} – момент інерції колеса автомобіля, кг·м².

Швидкість руху автомобіля визначається, виходячи із значення частоти обертання зчеплення:

$$V_a = \frac{n_z \cdot \pi \cdot r_k}{U_i \cdot U_p \cdot 30}, \quad (2.17)$$

Після вирівнювання частот обертання двигуна і ведучої частини зчеплення ($n_o = n_z$) відбувається розгін автомобіля при заблокованому зчепленні і закінчується при заданій частоті обертання двигуна $n_{o_{ki}}$ на i -тій передачі.

Рівняння руху автомобіля має вигляд:

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{1}{\delta \cdot (M_o + M_e) \cdot \left(1 + \frac{\lambda \cdot U_i^2 \cdot U_p^2 \cdot \eta_T}{\delta \cdot (M_o + M_e) \cdot r_k \cdot r_d} \right)} \times \left(\frac{M_k \cdot U_i \cdot U_p \cdot \eta_T}{r_d} - P_f \pm P_i - P_w \right), \quad (2.18)$$

де P_f , P_i , P_w – сили опору відповідно коченню, підйому, повітря, H ;

δ – коефіцієнт, який враховує маси автомобіля, що обертаються;

η_T – ККД трансмісії.

Коефіцієнт, який враховує маси автомобіля, що обертаються, і сили опору коченню, підйому і повітря можна визначити за залежностями:

$$\delta = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n I_{ki}}{(M_o + M_e) \cdot r_d^2} + \frac{I_d \cdot U_i^2 \cdot U_p^2 \cdot \eta_T}{(M_o + M_e) \cdot r_d^2}, \quad (2.19)$$

$$P_f = (M_o + M_e) \cdot f \cdot \cos \alpha \cdot g, \quad (2.20)$$

$$P_i = (M_o + M_e) \cdot \sin \alpha \cdot g, \quad (2.21)$$

$$P_w = kF \cdot V_a^2 \cdot g, \quad (2.22)$$

де kF – фактор опору повітря;

f – коефіцієнт опору коченню.

Значення коефіцієнта опору коченню визначалося за залежністю:

$$f = f_o \cdot (1 + A \cdot V_a^2), \quad (2.23)$$

де A – дослідний коефіцієнт, що дорівнює $65 \cdot 10^{-5}$.

Після розгону відбувається переключення на вищу передачу, двигун при цьому працює в режимі примусового холостого ходу і описується рівнянням:

$$\frac{dn_o}{dt_3} = M_m \cdot \frac{30}{I_o \cdot \pi}, \quad (2.24)$$

де t_3 – час, що пройшов з моменту виключення зчеплення, с;

M_m – момент механічних втрат двигуна при закритих дросельних заслінках, Н·м.

Момент механічних втрат двигуна при закритих дросельних заслінках описується лінійною залежністю:



$$M_m = -k_1 \cdot n_o, \quad (2.25)$$

де k_1 – дослідний коефіцієнт.

Вибіг автомобіля описується рівнянням:

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{1}{\delta_1 \cdot (M_o + M_e)} \cdot (-P_{f1} \pm P_i - P_w), \quad (2.26)$$

де δ_1 – коефіцієнт, який враховує маси автомобіля, що обертаються.

Величина δ_1 визначається за формулою:

$$\delta_1 = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n I_{ki}}{(M_o + M_e) \cdot r_o^2}. \quad (2.27)$$

З врахуванням втрат в трансмісії при русі автомобіля накатом коефіцієнт опору коченню розраховується за формулою:

$$f_1 = f + 0,005 \cdot \quad (2.28)$$

Після переключення передач відбувається розгін автомобіля з блокованим зчепленням за рівняннями (2.18) – (2.23) або рух з постійною швидкістю.

Необхідний крутний момент під час руху автомобіля з постійною швидкістю визначається за залежністю:

$$M_k = \frac{\left[(M_o + M_{\theta}) \cdot (f_o \cdot \cos \alpha + f_o \cdot A \cdot V_a^2 \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) + kF \cdot V_a^2 \right] \cdot r_d \cdot g}{U_i \cdot U_p \cdot \eta_T} \cdot \quad (2.29)$$

Частота обертання двигуна визначається з рівняння:



$$n_d = \frac{V_a \cdot U_i \cdot U_p \cdot 30}{\pi \cdot r_k} \cdot \quad (2.30)$$

Розрідження у впускному трубопроводі розраховується виходячи із значень крутного моменту:

$$\Delta p_k = \frac{M_k - A_o}{A_1} \cdot \quad (2.31)$$

де A_o , A_1 – дослідні коефіцієнти.

При уповільненні автомобіля з від'єднаним двигуном від трансмісії без застосування гальм (вибіг автомобіля) рух автомобіля описується рівнянням (2.26). Розрахунок проводиться до заданої кінцевої швидкості руху $V_{кз}$. Частота обертання двигуна після від'єднання від трансмісії визначається рівнянням (2.24). Розрахунок здійснюється до частоти $n_d = n_{min_{xx}}$, а далі робота двигуна відбувається в режимі мінімальної частоти холостого ходу $n_{min_{xx}}$.

Якщо уповільнення здійснюється з двигуном приєднаним до трансмісії, тобто двигун працює в режимі примусового холостого ходу, рух автомобіля описується рівнянням:

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{1}{\delta \cdot (M_o + M_e)} \cdot \left(\frac{M_m \cdot U_i \cdot U_p}{\eta_T \cdot r_d} - P_f \pm P_i - P_w \right). \quad (2.32)$$

Частота обертання при роботі двигуна в режимі примусового холостого ходу визначається з рівняння (2.30).

Масові викиди оксиду вуглецю, двооксиду вуглецю, вуглеводнів і оксидів азоту при роботі двигуна на газовому паливі, визначаються за формулами:

$$\Delta G_{CO} = 28 \cdot r_{CO} (1 + 9,52(\alpha - 0,21)) \frac{G_{CO}}{\mu}, \quad (2.33)$$

$$\Delta G_{C_m H_n} = 16 \cdot r_{C_m H_n} (1 + 9,52(\alpha - 0,21)) \frac{G_{C_m H_n}}{\mu}, \quad (2.34)$$

$$\Delta G_{NO_x} = 46 \cdot r_{NO_x} (1 + 9,52(\alpha - 0,21)) \frac{G_{NO_x}}{\mu}, \quad (2.35)$$

$$\Delta G_{CO_2} = 44 \cdot r_{CO_2} (1 + 9,52(\alpha - 0,21)) \frac{G_{CO_2}}{\mu}, \quad (2.36)$$

Витрата палива за проміжок часу Δt визначається за формулою:

$$\Delta G_n = \frac{G_n \cdot \Delta t}{3,6}. \quad (2.37)$$

Викиди шкідливих речовин за весь цикл:

$$G_{i_c} = \sum \Delta G_i. \quad (2.38)$$

Витрата палива за весь цикл розраховується за залежністю:

$$G_{nc} = \sum \Delta G_n. \quad (2.39)$$

Сумарні масові викиди шкідливих речовин, зведені за допомогою коефіцієнтів відносної агресивності до викидів оксиду вуглецю, визначаються за залежністю:

$$G_{\sum CO} = G_{CO} + 3,16 \cdot G_{C_mH_n} + 41,1 \cdot G_{NO_x}. \quad (2.40)$$

Питомі викиди шкідливих речовин g_i і витрата палива g_n на 1км (г/км) розраховуються за залежностями:



$$g_i = \frac{1000 \cdot G_{ic}}{S}, \quad (2.41)$$

$$g_n = \frac{1000 \cdot G_{nc}}{S}, \quad (2.42)$$

де S – довжина їздового циклу, км.

Питомі викиди шкідливих речовин g_i' і витрата палива g_n' на 1т·км транспортної роботи, (г/ткм):

$$g_i' = \frac{1000 \cdot G_{ic}}{S \cdot M_{\theta}}, \quad (2.43)$$

$$g_n' = \frac{1000 \cdot G_{nc}}{S \cdot M_{\theta}}. \quad (2.44)$$

2.3 Перевірка адекватності окремих елементів моделі

Для описання показників двигунів використовувались такі види поліноміальних моделей:

- квадратичні однофакторні моделі виду:

$$y = A_0 + A_1x_1 + A_2x_1^2; \quad (2.45)$$

- квадратичні двофакторні моделі виду:

$$y = A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + A_{11}x_1^2 + A_{22}x_2^2 + A_{12}x_1x_2; \quad (2.46)$$

- кубічні двофакторні моделі виду:

$$y = A_0 + A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_1^2 + A_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + A_5 \cdot x_2^2 + ; \quad (2.47)$$

$$+ A_6 \cdot x_1^3 + A_7 \cdot x_1^2 \cdot x_2 + A_8 \cdot x_1 \cdot x_2^2 + A_9 \cdot x_2^3$$

Коефіцієнти поліноміальних моделей визначались з використанням експериментальних характеристик. За планом симетричного повного факторного експерименту визначались значення параметрів в точках плану, за якими з використанням метода найменших квадратів з використанням комп'ютерних програм визначались коефіцієнти поліноміальних моделей.

Перевірка адекватності поліноміальних моделей проводилась за F -критерієм. Його розрахункове значення визначають за формулою

$$F_{роз} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \quad (2.48)$$

де $S_{неад}^2$ - дисперсія неадекватності;

S_y^2 - дисперсія досліджу.

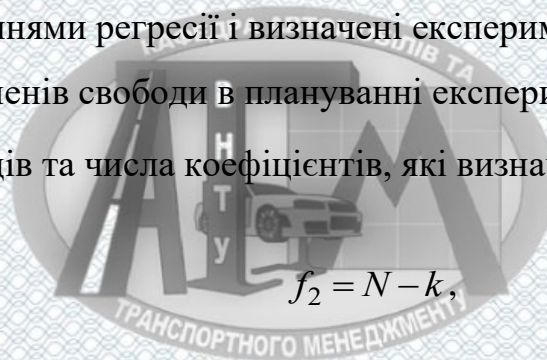
Якщо отримане розрахунком значення F - критерію не перебільшує табличних даних $F_{роз} \leq F_{табл}$, то з певною надійною імовірністю модель можна вважати адекватною. Під час перевірки адекватності використовувалися таблиці F - критерію при 5% рівні значущості, тому надійна імовірність становить 95 %.

Дисперсія неадекватності визначається за залежністю

$$S_{неад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{i\text{роз}} - y_{i\text{експ}})^2}{f_2}, \quad (2.49)$$

де $y_{i\text{роз}}$ та $y_{i\text{експ}}$ значення поверхні відгуку в i -му досліді, відповідно розраховані за рівняннями регресії і визначені експериментально;

f_2 - число ступенів свободи в плануванні експерименту, яке визначається як різниця числа дослідів та числа коефіцієнтів, які визначаються (разом з a_0)



$$f_2 = N - k, \quad (2.50)$$

де N - число дослідів;

k - число коефіцієнтів апроксимації.

Дисперсія дослідів визначається за значеннями дослідів, повторених в одній точці за залежністю:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{f_1}, \quad (2.51)$$

де $f_1 = n - 1$ - число ступенів свободи (n - число повторених дослідів);

y_i і \bar{y} - отримані під час проведення кожного дослідів значення і середнє значення вимірюваних параметрів.

2.4 Структура програми розрахунку показників транспортного засобу в їздовому циклі

Для оцінки екологічних показників транспортного засобу під час його руху за міським їздовим циклом були уточнені математичні моделі, які розроблені в НТУ, алгоритмічною мовою Fortran [46].

В залежності від маси вантажу, ступеня стискання і складу паливоповітряної суміші визначалися показники руху автомобіля і роботи двигуна.

В результаті розрахунків в окремі файли виводяться показники руху автомобіля та параметри роботи двигуна, концентрації та масові викиди шкідливих речовин, витрати палива і повітря, коефіцієнт надміру повітря та підсумкові результати за весь їздовий цикл.

Програма складається з основного модуля, тринадцяти підпрограм типу SUBROUTINE і трьох типу FUNCTION.

В основному модулі програми вміщено вихідні дані для розрахунку, операційну карту їздового циклу, коефіцієнти поліноміальних моделей, описуються режими руху автомобіля.

Підпрограма DR0000 призначена для розрахунку кута відкриття дросельних заслінок залежно від частоти обертання колінчастого вала двигуна і розрідження у впускному трубопроводі.

Підпрограми DEPDAT і DDTR служать для запам'ятовування (і повернення в основну програмну одиницю) значень параметрів процесу руху і списку параметрів для звертання до стандартної підпрограми RKF – 45.

Підпрограма DPKOBS визначає розрідження у впускному трубопроводі залежно від частоти обертання двигуна і кута відкриття дросельних заслінок.

Підпрограма RAZGX1 вміщує диференціальне рівняння розгону двигуна в режимі холостого ходу і умови для визначення параметрів цього рівняння. В підпрограмі ENGINE є залежності, що визначають частоту обертання двигуна і веденої частини зчеплення під час рушання автомобіля.

Підпрограма SHASSI вміщує залежності для розрахунку опору руху автомобіля.

Підпрограма RAZGON містить диференціальні рівняння руху автомобіля з приєднаним та від'єднаним двигуном і звернення до підпрограми ENGINE.

Підпрограма OUTPUT містить залежності для визначення масових і приведених викидів шкідливих речовин, оператори виведення економічних, екологічних і енергетичних показників автомобіля в окремий файл та звернення до підпрограми FUEL.

Підпрограма FUEL включає залежності для витрати палива і повітря, коефіцієнта надміру повітря та концентрацій шкідливих речовин у ВГ.

Для вирішення системи диференціальних рівнянь використовується метод числового інтегрування Рунге – Кутта за формулами, запропонованими Фельбергом. Для цього в програмі використано стандартну програму RKF – 45, яку описано в [51].

В підпрограмах FUNCTION приводяться функції для розрахунку витрат палива і повітря, вмісту ШР у відпрацьованих газах.

Висновки до розділу 2

Проаналізовано та вибрано їздовий цикл який буде використовуватись для дослідження витрати палива та викидів ШР в найбільш реальних експлуатаційних умовах роботи вибраних ТЗ.

Уточнена комп'ютерна реалізація математичної моделі алгоритмічною мовою Fortran за прийнятим їздовим циклом шляхом описання двигуна за допомогою поліноміальних моделей.

Підтверджена адекватність отриманих поліноміальних залежностей, які описують газовий двигун Д-240, як джерело шкідливих викидів і споживача газового палива з використанням F – критерію Фішера.



РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Розрахунок основних показників технологічного проекту підприємства виконується на персональному комп'ютері в діалоговому режимі за програмою "ВТБ-08", яка знаходиться в каталозі програмного забезпечення кафедри "Автомобілі та транспортний менеджмент".

Технологічний проект виконується за методикою, викладеною у [73,74].

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку виробничої програми по ТО і ПР

Показник	ЗІЛ-ММЗ-4502	ГАЗ-3307	ГАЗ-2705	ІЖ-27175
1	2	3	4	5
Спискова кількість автомобілів, одиниць	21	21	14	16
Кількість автомобілів до капітального ремонту, %	5	10	50	50
Кількість автомобілів після капітального ремонту, %	95	90	50	50
Нормативний пробіг до капітального ремонту, км	300000	300000	175000	150000
Коефіцієнт, що враховує категорію умов експлуатації	0,8	0,8	0,8	0,8
Коефіцієнт, що враховує модифікацію РС	1	1	1	1
Коефіцієнт, що враховує природно-кліматичні умови	1,1	1,1	1,1	1,1
Нормативний пробіг автомобіля до ТО-1, км	4000	4000	4000	5000
Нормативний пробіг автомобіля до ТО-2, км	16000	16000	16000	20000
Кількість днів простою РС в капітальному ремонті	20	18	18	15
Коефіцієнт, що враховує частку РС, направлено в КР	0,1	0,1	0,1	0,1
Кількість днів простою РС в ТО і ПР на 1000 км	0,35	0,35	0,3	0,25
Коефіцієнт тривалості простою РС в ТО і ПР в залежності від пробігу	1,9	1,6	1,4	1,2
Дні роботи РС за рік	365	365	365	365
Середньодобовий пробіг одиниці рухомого складу, км	63	69	71	56
Нормативна трудомісткість ЩО, люд.год	0,3	0,3	0,3	0,2
Коефіцієнт механізації прибирально-мийних робіт	1,35	1,35	1,35	1,35
Коефіцієнт, що враховує модифікацію РС	1,15	1,2	1,2	1,2
Нормативна трудомісткість ТО-1, люд.год	3,6	3,6	3,0	2,6
Нормативна трудомісткість ТО-2, люд.год	14,4	14,4	12,0	10,5
Коефіцієнт, що враховує кількість технологічно-сумісних груп РС	1,19	1,19	1,19	1,19

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Нормативна трудомісткість ПР, люд.год	3,4	3,0	2,0	1,8
Коефіцієнт, що враховує категорію умов експлуатації для ПР	1,2	1,2	1,2	1,2
Коефіцієнт, що враховує природно-кліматичні умови для ПР	0,9	0,9	0,9	0,9
Коефіцієнт, який враховує умови зберігання РС	1	1	1	1
Коефіцієнт, який враховує частку допоміжних робіт	0,3	0,3	0,3	0,3

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Виробнича програма по ТО і ПР рухомого складу

Показник	ЗІЛ-ММЗ-4502	ГАЗ-3307	ГАЗ-2705	ІЖ-27175
1	2	3	4	5
Пробіг рухомого складу до КР, км	300000	300000	175000	150000
Пробіг рухомого складу до ТО-1, км	4000	4000	4000	5000
Пробіг рухомого складу до ТО-2, км	16000	16000	16000	20000
Коефіцієнт технічної готовності	0.97	0.97	0.97	0.98
Річний пробіг групи РС, км	482895	528885	362810	327040
Коригований пробіг рухомого складу до ТО-1, км	3200	3200	3200	4000
Коригований пробіг рухомого складу до ТО-2, км	12800	12800	12800	16000
Коригований пробіг рухомого складу до КР, км	224400	237600	138600	108000
Річна кількість ТО-1	148.75	163.05	110.76	78.73
Річна кількість ТО-2	35.57	39.09	25.73	17.41
Річна кількість КР	2.15	2.23	2.62	3.03
Річна кількість ЩОд	7665.00	7665.00	5110.00	5840.00
Річна кількість ЩОт	294.92	323.43	218.38	153.83
Річна кількість Д-1	199.20	218.45	147.56	104.02
Річна кількість Д-2	42.69	46.91	30.87	20.89
Річна кількість СО	42.0	42.0	28.0	32.0
Округлена річна кількість ТО-1	149	163	111	79
Округлена річна кількість ТО-2	36	39	26	17
Округлена річна кількість КР	2	2	2	3
Добова кількість ТО-1	0.41	0.45	0.30	0.22
Добова кількість ТО-2	0.10	0.11	0.07	0.05
Добова кількість КР	0.01	0.01	0.01	0.01
Добова кількість ЩОд	21.00	21.00	14.00	16.00
Добова кількість ЩОт	0.81	0.89	0.60	0.42
Добова кількість Д-1	0.55	0.60	0.40	0.28

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Добова кількість Д-2	0.12	0.13	0.08	0.06
Коригована трудомісткість ЩОд, люд.год	0.34	0.42	0.42	0.28
Коригована трудомісткість ЩОт, люд.год	0.17	0.21	0.21	0.14
Коригована трудомісткість ТО-1, люд.год	6.42	7.81	6.51	5.64
Коригована трудомісткість ТО-2, люд.год	25.67	31.25	26.04	22.79
Коригована трудомісткість ПР, люд.год	6.55	7.03	4.69	4.69
Річна трудомісткість ЩОд, люд.год	2583.42	3158.30	2105.20	1589.20
Річна трудомісткість ЩОт, люд.год	50.87	67.92	45.86	21.54
Річна трудомісткість ТО-1, люд.год	954.55	1273.75	721.05	444.21

Річна трудомісткість ТО-2, люд.год	913.12	1221.58	669.93	396.73
Річна трудомісткість ПР, люд.год	3160.71	3718.48	1700.56	1532.90
Річна трудомісткість допоміжних робіт, люд.год	2317.10	2850.31	1585.08	1209.17
Виробнича програма по парку:				
Річний пробіг парку, км	1701630			
Кількість КР	10			
Кількість ЩОд	26280+1904**			
Кількість ЩОт	991			
Кількість ТО-1	501			
Кількість ТО-2	118			
Кількість Д-1	669			
Кількість Д-2	141			
Кількість СО	144			
Трудомісткість ЩОд, люд.год	(9436,12+209**) 9645.12			
Трудомісткість ЩОт, люд.год	186.19			
Трудомісткість ТО-1, люд.год	3393.55			
*Трудомісткість ТО-2, люд.год	3201.36			
Трудомісткість ПР, люд.год	10112.66			
Трудомісткість допоміжних робіт, люд.год	7961.67			

*10% загальної трудомісткості ТО-2 (320.14 люд.год) буде відраховано на дільничні роботи ПР; ** кількість обслуговувань (прибирально-мийні роботи) згідно укладених договорів зі сторонніми організаціями.

Розподіл обсягу робіт з ТО і ПР виконується за рекомендаціями [73,74], а результати розрахунку наведені в таблицях 3.3-3.5.

Таблиця 3.3 – Розподіл трудомісткості ТО за видами робіт

Види робіт	ТО-1	ТО-2
	люд.год.	люд.год.
Діагностичні	361.57	328.07
Кріпильні, регулювальні, змащ. та інші	3031.99	2873.29
Разом	3393.55	3201.36

Таблиця 3.4 – Розподіл трудомісткості ПР за видами робіт

Види робіт ТО і ПР	Трудомісткість, люд.год
ПР - Постові роботи	
Діагностика загальна (Д-1)	101.13

Діагностика поглиблена (Д-2)	101.13
Регулювальні і розбірно-складальні роботи	3508.77
Зварювальні роботи	61.32
для рухомого складу з металевими кузовами	343.19
Бляхарські роботи	30.66
для рухомого складу з металевими кузовами	257.39
Фарбувальні роботи	637.42
Разом	5041.00
ПР - Дільничі роботи	
Агрегатні роботи	1789.62
Слюсарно-механічні роботи	1011.27
Електротехнічні роботи	601.00
Акумуляторні роботи	282.29
Ремонт приладів системи живлення	469.21
Шиномонтажні роботи	181.16
Роботи вулканізації (ремонт камер)	101.13
Ковальсько-ресорні роботи	288.05
Мідницькі роботи	202.25
Зварювальні роботи	116.46
Бляхарські роботи	116.46
Арматурні роботи	116.46
Оббивні роботи	116.46
Разом	5391.80

Таблиця 3.5 – Розподіл трудомісткості ЩО за видами робіт

Види робіт ТО і ПР	Трудомісткість, люд.год
1	2
ЩОд	
Мийні	966.17
Прибиральні (сушка-обтирання включно)	1530.19
Заправні	1317.61
Контрольно-діагностичні	1494.16
Ремонтні (усунення дрібних несправностей)	4336.98
Разом	9645.13
ЩОт	
Мийні	78.78
Прибиральні (сушка-обтирання включно)	107.41

Разом	186.19
-------	--------

Згідно [73,74] , крім робіт з ТО і ПР, в АТП виконуються допоміжні роботи, обсяг яких ($T_{\text{доп}}$) складає 25-30% від загального обсягу робіт з ТО і ПР автомобілів.

Розподіл допоміжних робіт по АТП виконується за рекомендаціями [73], результати розподілу наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Розподіл трудомісткості допоміжних робіт за видами

Види робіт	%	Трудомісткість, люд.год
1	2	3
По самообслуговуванню	40.00	3184.67
Транспортні роботи	10.00	796.17
Прийом, зберігання і видача матеріальних цінностей	15.00	1194.25
Перегон рухомого складу	15.00	1194.25
Прибирання виробничих приміщень	10.00	796.17
Прибирання території	10.00	796.17
Разом:	100	7961.67
Розподіл обсягу робіт по самообслуговуванню АТП		
Електротехнічні	25.00	1990.42
Механічні	10.00	796.17
Слюсарні	16.00	1273.87
Ковальські	2.00	159.23
Зварювальні	4.00	318.47
Жерстяницькі	4.00	318.47
Мідницькі	1.00	79.62
Трубопровідні	22.00	1751.57
Ремонтно-будівель та деревообробні	16.00	1273.87
Разом:	100	3184.67

Результати розрахунків необхідної кількості ремонтних робітників в зонах ТО і ПР, а також допоміжних робітників наведені в таблицях 3.7 і 3.8.

Таблиця 3.7 - Вихідні дані для розрахунку чисельності робітників

Показник	Знач.
1	2
Річний фонд часу при однозмінній роботі	2010
Ефективний фонд часу ремонтного робітника	1728
Ефективний фонд часу слюсаря по ремонту приладів системи живлення	1727
Ефективний фонд часу акумуляторщиків	1727
Ефективний фонд часу ковалів	1727

Ефективний фонд часу мідників	1727
Ефективний фонд часу зварювальників	1727
Ефективний фонд часу вулканізаторщиків	1727
Ефективний фонд часу малярів	1502

Таблиця 3.8 – Чисельність ремонтних робітників

Види робіт	Чисельність робітників	Округлено
1	2	3
Зона ЩО	5.69	6
ТО-1		
Діагностика загальна (Д-1)	0.21	2
Кріпильні, регулювальні, змащувальні та ін.	1.75	
ТО-2		
Діагностика поглиблена (Д-2)	0.19	2
Кріпильні, регулювальні, змащувальні та ін.	1.66	
ПР - Постові роботи		
Діагностика загальна (Д-1)	0.06	2
Діагностика поглиблена (Д-2)	0.06	
Регулювальні і розбірно-складальні роботи	2.03	
Зварювальні роботи	0.23	1
Бляхарські роботи	0.17	
Фарбувальні роботи	0.42	
Деревообробні роботи	0.74	1
ПР - Дільничі роботи		
Агрегатні роботи	1.04	1
Слюсарно-механічні роботи	1.78	2
Електротехнічні роботи	1.50	2
Акумуляторні роботи	0.16	
Ремонт приладів системи живлення	0.27	

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	
Шиномонтажні роботи	0.10	0	
Роботи вулканізації (ремонт камер)	0.06	0	
Ковальсько-ресорні роботи	0.26	1	
Мідницькі роботи	0.67		
Зварювальні роботи	1727	0.25	1
Бляхарські роботи	1728	0.76	
Арматурні роботи	1728	0.07	
Оббивні роботи	1728	0.07	
За видами допоміжних робіт			
Прийом, зберігання і видача матеріальних цінностей	1728	0.69	1
Транспортні роботи	1728	0.46	1
Перегон рухомого складу	1728	0.69	

Прибирання виробничих приміщень	1728	0.46	1
Прибирання території	1728	0.46	

Всі вибрані значення вихідних наведено в таблиці 3.9, а результати розрахунків наведені в таблиці 3.10. За результатами розрахунків вибираємо два пости ЩО, два пости ТО та два пости ПР.

Таблиця 3.9 – Вихідні дані для розрахунку кількості робочих постів

Типи робочих постів	Коефіцієнт резервування постів для компенсації нерівномірного завантаження	Кількість робочих змін за добу	Тривалість робочої зміни, годин	Чисельність робітників, які одночасно працюють на посту	Коефіцієнт використання робочого часу поста
1	2	3	4	5	6
Щоденне обслуговування:					
прибиральні	1,8	1	8	2	0,96
мийні	1,8	1	8	1	0,9
заправочні	1,8	1	8	1,25	0,9
контрольно-діагностичні	1,8	1	8	1,25	0,98
ремонтні	1,8	1	8	1,25	0,98

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5	6
Технічне обслуговування №1:					
діагностичні	1,4	1	8	2	0,9
кріпильні, регулювальні, змащувальні та інші	1,4	1	8	1,5	0,98
Технічне обслуговування №2:					
діагностичні	1,4	1	8	2	0,9
кріпильні, регулювальні, змащувальні та інші	1,4	1	8	1,5	0,98
Поточний ремонт:					
діагностичні	1,4	1	8	2	0,9
регулювальні і розбирально-складальні	1,8	1	8	1,5	0,98
зварювально-жерстянецькі	1,4	1	8	1,5	0,9
фарбувальні	1,8	1	8	2	0,9
деревообробні	1,4	1	8	1	0,9

Таблиця 3.10 – Результати розрахунку кількості робочих постів

Типи робочих постів	Кількість	Округлено
ЩО		
Прибиральні	1.12	1
Мийні	0.34	0
Заправні	0.72	1
Контрольно-діагностичні	0.75	1
Ремонтні	2.18	2
Разом	5.11	5
ТО-1		
Діагностичні	0.10	0
Кріпильні, регулювальні, змащувальні та інші	0.99	1
Разом	1.09	1
ТО-2		
Діагностичні	0.09	0
Кріпильні, регулювальні, змащувальні та інші	0.94	1
Разом	1.02	1
ПР		
Діагностичні	0.05	0
Регулювальні і розбирально-складальні	1.47	1
Зварювально-жерстянецькі	0.03	0
Фарбувальні	0.22	0
Деревообробні	0.68	1
Разом	2.45	2

Вихідні дані для розрахунків наведено в таблиці 3.11, а результати розрахунків наведені в таблиці 3.12. За розрахунком площа зони зберігання менше, ніж в дійсності, тому що на підприємстві в теперішній час автомобілів менше, ніж було раніше.

Таблиця 3.11 – Вихідні дані для визначення площ зон зберігання, обслуговування та ремонту рухомого складу

Показник	ЗІЛ- ММЗ- 4502	ГАЗ-3307	ГАЗ- 2705	ІЖ- 27175
Зона зберігання автомобілів:				
кількість постів зберігання, одиниць	21	21	14	16
площа, яку займає один автомобіль, м ²	16.69	15.59	11.36	7.14
коефіцієнт щільності розміщення	2,5	2,5	2,5	2,5
Зона ЩО:				

кількість постів обслуговування	2			
коефіцієнт щільності розміщення	2,3	2,3	2,3	2,3
Зона ТО:				
кількість постів обслуговування	2			
коефіцієнт щільності розміщення	4,5	4,5	4,5	4,5
Зона ПР:				
кількість постів обслуговування	2			
коефіцієнт щільності розміщення	4,5	4,5	4,5	4,5

Таблиця 3.12 – Результати розрахунків площ зон

Зона	Площа, м ²
Зберігання автомобілів	2378
Щоденного обслуговування	196
Технічного обслуговування	172
Поточного ремонту	112

Вихідні дані для розрахунків наведено в таблиці 3.13, а результати розрахунків наведені в таблиці 3.14.

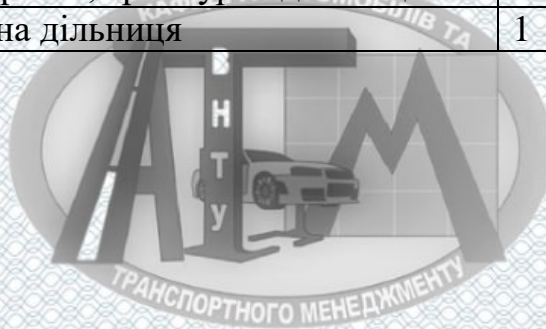
Таблиця 3.13 – Вихідні дані для визначення площ виробничих приміщень

Найменування приміщення	$f_{p}^I, \text{м}^2$	$f_{p}^{II}, \text{м}^2$	Р, чол.
Слюсарно-механічне	12	10	2
Ковальсько-ресорне	20	15	1
Мідницьке	10	8	
Шиноремонтне	15	10	1
Зварювально-жерстяницьке	15	10	
Оббійне	15	10	
Арматурне	8	5	0
Кузовне	30	15	
Електротехнічне	10	5	2
Акумуляторне	15	10	

Паливної апаратури	8	5	
Фарбувальне	30	15	1
Деревообробне	15	12	1
Агрегатне	15	12	1

Таблиця 3.14 – Результати розрахунків площ виробничих приміщень

Найменування дільниці	Чисельність робітників	Площа, м2
1	2	3
Моторна дільниця	1	33
Шиномонтажна і вулканізаційна дільниця	2	47
Агрегатна дільниця	2	46
Електротехнічна дільниця	1	48
Зварювально-бляхарська, арматурна дільниця	1	47
Ковальсько - ресорна дільниця	1	47



РОЗДІЛ 4

МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Об'єкти досліджень

Об'єктами теоретичних дослідження стали автомобілі ГАЗ-3307 та ГАЗ-3309. Вантажні автомобілі четвертого покоління, випуском яких займався Горьковський автозавод (рис. 4.1). Виробництво бортової карбюраторної вантажівки стартувало в 1989-му році. Великосерійне виробництво моделі було практично повністю припинено в 1994-му році. На зміну їй прийшла версія ГАЗ-

3309. На автомобілі ГАЗ-3307 встановлювався бензиновий двигун ЗМЗ-5231 на ГАЗ-3309 дизель Д-240.

Також об'єктами теоретичних досліджень є автомобіль ГАЗ-3307 з газобалонним обладнанням. З модифікацією бензинового двигуна ЗМЗ-5231 для роботи на ПГ і на бензині, тобто використання двох типів палив. Та автомобіль ГАЗ-3309 з переобладнаним з дизеля газовим двигуном з використанням іскрового запалювання.

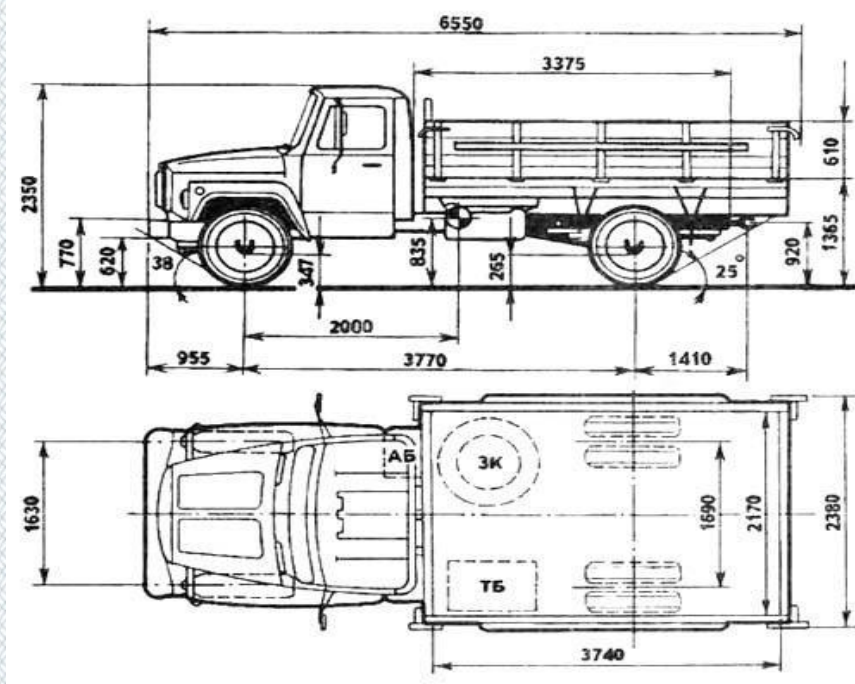


Рисунок 4.1 – Габаритні розміри автомобіля ГАЗ-3307 та ГАЗ-3309

Короткі технічні характеристики автомобілів ГАЗ-3307 та ГАЗ-3309 наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика автомобілів ГАЗ-3307 та ГАЗ-3309

№ з/п	Найменування показників	Характеристики показників автомобілів	
		ГАЗ-3307	ГАЗ-3309
Загальні дані			
1.	Габаритні розміри, мм: довжина ширина висота (по кабіні)	6330 2700 2350	6436 2700 2350
2.	База, мм:	3770	3770
3.	Повна маса, кг	7850	8180
4.	Вантажопідйомність, кг	4500	4500
5.	Споряджена маса, кг	3450	3550
6.	Максимальна швидкість з повним навантаженням, км/год	90	95

7.	Витрата палива при русі з постійною швидкістю, л/100 км 60 км/год 80 км/год	19,6 26,4	14,5 19,3
8.	Коробка передач	механічна, 5 ступенева	механічна, 5 ступенева

Коротка технічна характеристика двигунів автомобілів ГАЗ наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика двигунів автомобілів ГАЗ

№ з/п	Найменування показників	Характеристики показників двигунів			
		бензиновий	газовий на базі бензинового	дизельний	газовий на базі дизеля
Загальні дані					
1.	Тип	Бензиновий, 4-тактний, карбюраторний	Бензиновий, 4-тактний, карбюраторний	Дизельний, 4-тактний	Газовий, 4-тактний
2.	Число і розміщення циліндрів	8, V-подібне	8, V-подібне	4, рядне	4, рядне
3.	Робочий об'єм, л	4,67	4,67	4,75	4,75
4.	Діаметр циліндра і хід поршня, мм	92/88	92/88	110/125	110/125
5.	Ступінь стиску	7,6	7,6	16	12
6.	Номінальна потужність, кВт	83	74	55,1	57,3
7.	Максимал. крутний момент, Нм	270	240	274	280
8.	Номінал частота обертання, хв ⁻¹	3200	3200	2200	2200
9.	Спосіб сумішоутворення	зовнішнє	зовнішнє	внутрішнє	зовнішнє
10.	Паливо	бензин	ПГ	ДП	ПГ
11.	Спосіб запалювання пальної суміші	примусове від іскри	примусове від іскри	самозаймання	примусове від іскри

Об'єктом для стендових досліджень був серійний чотирициліндровий чотиритактний дизель 4С11/12,5 (Д-240, заводський №727568) переобладнаний для роботи на ПГ, який зображений на рис. 4.2.

Переобладнання дизеля в газовий двигун з примусовим запалюванням і зовнішнім сумішоутворенням виконувалося з мінімальними змінами його конструкції з метою забезпечення можливості відновлення роботи двигуна за дизельним процесом.

Для забезпечення роботи двигуна на ПГ було встановлено серійне газове обладнання та безконтактна електронна система запалювання з індуктивним датчиком, а також зменшено ступінь стискання з 16 до 12 одиниць [52-57].

Технічна характеристика газового обладнання та системи запалювання наведена в табл. 4.3.



Рисунок 4.2 – Дизель Д-240, переобладнаний для роботи на ПГ

Таблиця 4.3 – Коротка технічна характеристика газового обладнання та системи запалювання

№ з/п	Елементи систем	Характеристика елементів
Газове обладнання		
1.	Балони для ПГ	Металопластикові, об'ємом 50 л
2.	Підігрівач газу	Рідинний
3.	Газовий редуктор	трьохступінчастий, мембранно-важільного типу
4.	Електромагнітний клапан з фільтром	З сітчастим фільтруючим елементом
5.	Газоповітряний змішувач СГ-250	Двокамерний, з системою холостого ходу. Включення камер – паралельне
6.	Манометри тиску:	

	25 МПа 0,6 МПа	Мембранний, механічний розташований на балоні (тип М1Д-13) Електричний, дистанційний, розміщений на редукторі низького тиску (М 358)
7.	Вентилі: розхідний наповнювальний	Метановий балонний, типу ВМР-1 Метановий балонний, типу ВМН-1
Система запалювання		
1.	Переривач-розподільник	19.37.06
2.	Котушка запалювання	Б-116-02
3.	Комутатор	131.3734-01
4.	Свічка запалювання	BRISK LR15YC

Зменшення ступеня стискання газового двигуна забезпечено шляхом встановлення між головою блоку і блоком циліндрів 3-х прокладок загальною товщиною $\Delta = 4,5$ мм (двох штатних металоазбестових і однієї із листового дюралюмінію між ними). Після встановлення прокладок виконано регулювання теплових зазорів в клапанному механізмі, які рівні 0,25 мм і 0,40 мм для впускних і випускних клапанів відповідно.

Газове обладнання вибиралося з врахуванням забезпечення можливості зміни регулювань паливоподачі в широких межах на різних режимах роботи двигуна.

Система запалювання для газового двигуна вибиралася з існуючих систем, що серійно випускаються, на основі наступних вимог: вторинна напруга має забезпечувати стійке безперебійне іскроутворення на всіх режимах роботи двигуна; енергії іскрового розряду має вистачати для займання суміші на всіх режимах роботи двигуна; стійка робота за значних механічних навантажень, які спричиняють прискорення та вібрації; надійна робота і великий ресурс елементів та системи загалом; простота обслуговування апаратів запалювання, головним чином, переривача-розподільника, кількість регулювань, налагоджень, зачищень має бути мінімальна; мінімальні вартість апаратів системи і трудомісткість їх встановлення на газовий двигун при переобладнанні; відповідність швидкісних і

навантажувальних режимів роботи газового двигуна залежностям зміни кута випередження запалювання регулювальних пристроїв серійної системи запалювання (відцентрового та вакуумного регуляторів);

Таким чином, на газовий двигун було встановлено безконтактну систему запалювання з індуктивним датчиком в переривачі-розподільнику.

Всі елементи системи живлення дизельним паливом були демонтовані, а конструкція вузлів і пристроїв інших систем та механізмів дизеля не змінювались.

4.2 Результати стендових досліджень газового двигуна

Результати експериментальних досліджень показали, що переобладнаний двигун стабільно працює в усьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів.

На рис. 4.3 наведені навантажувальні характеристики газового двигуна та дизеля для частоти обертання $n_0 = 1400 \text{ хв}^{-1}$. Аналіз характеристики показує, що під час роботи на ПГ потужність двигуна підвищилась з 40 кВт до 41,4 кВт (на 3,4 %). Деяке підвищення потужності пояснюється роботою двигуна при значно менших значеннях коефіцієнта надлишку повітря $\alpha = 0,99 \dots 1,1$. Еквівалентна питома ефективна витрата палива (в МДж/(кВт·год)) газового двигуна в порівнянні з дизелем збільшилась на 16,8...25,6 %.

Концентрації викидів CO у газового двигуна більші ніж у дизеля на холостому ході та малих навантаженнях, і дещо менші при максимальному навантаженні. Така ж закономірність характерна і для викидів вуглеводнів C_mH_n , з яких переважну частину становить метан CH_4 . Викиди NO_x у дизеля менші на середніх навантаженнях, але більші на максимальних. Також у ВГ газового двигуна відсутня сажа, викиди якої мають місце в дизеля [58, 59].

Сумарна токсичність відпрацьованих газів, зведених до оксиду вуглецю CO газового двигуна та дизеля суттєво залежить від навантаження на двигун. Якщо при малих навантаженнях різниця в сумарній токсичності практично відсутня, то при

збільшенні навантаження, до максимальних значень сумарна токсичність газового двигуна зменшується до 55 % у порівнянні з дизелем [60].

Навантажувальні характеристики двигуна були описані поліноміальними моделями для використання в математичній моделі.



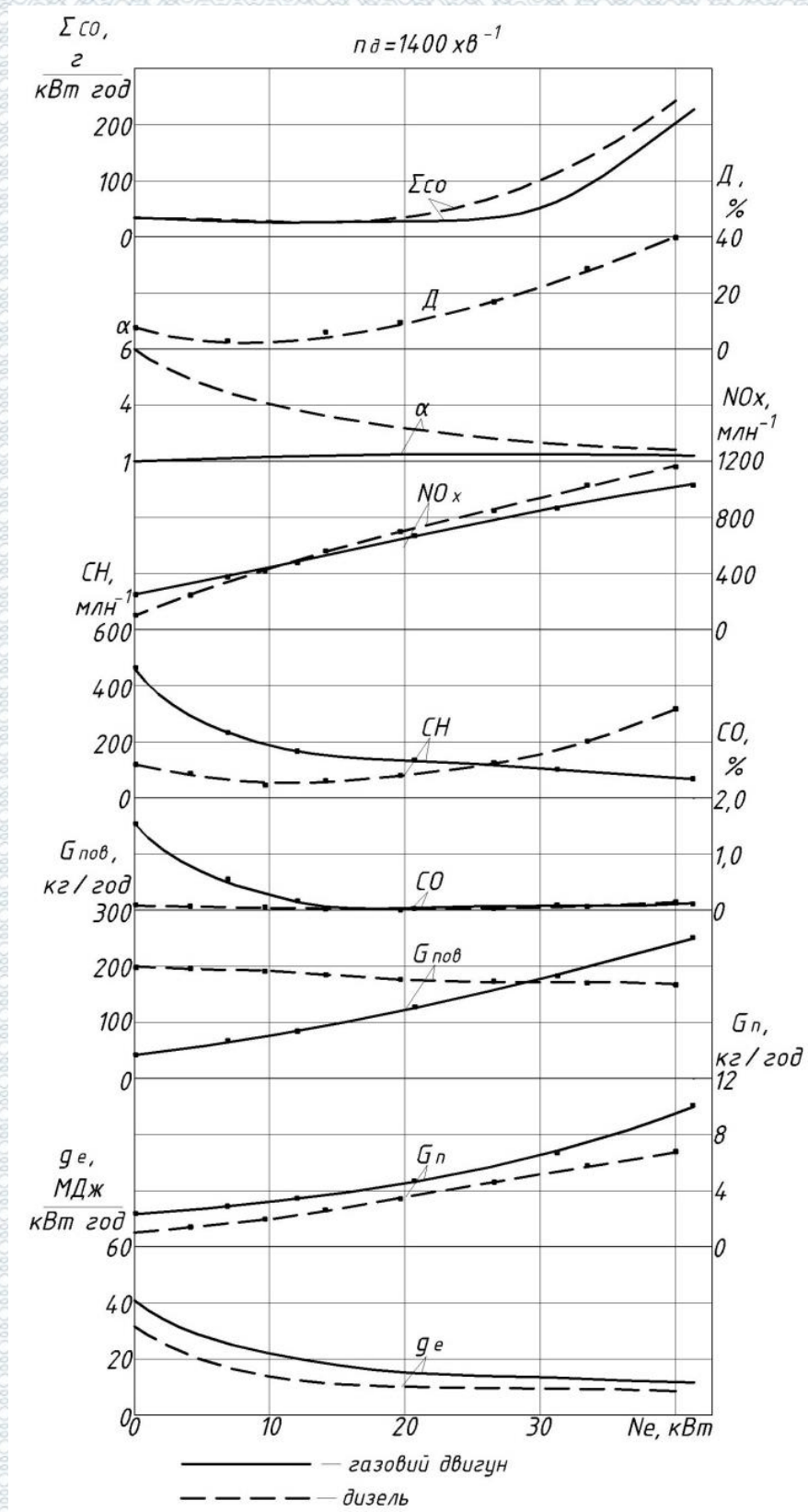


Рисунок 4.3 – Навантажувальна характеристика газового двигуна та дизеля при $n_d = 1400 \text{ хв}^{-1}$

4.3 Висновки до розділу 4

Вибрано об'єкти теоретичних досліджень, ними є вантажні автомобілі ГАЗ-3307 та ГАЗ-3309, які живляться бензином, дизельним паливом та ПГ.

Досліджено показники газового двигуна, переобладнаного з дизеля Д-240 при роботі на ПГ.

Результати експериментальних досліджень показали, що переобладнаний з дизеля газовий двигун є роботоздатним у всьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів. Його ефективна потужність близька до потужності базового дизеля, еквівалентна питома ефективна витрата палива на 16,8...25,6 % більша, ніж у дизеля. Сумарна токсичність $\sum CO$ відпрацьованих газів, газового двигуна та дизеля суттєво залежить від навантаження на двигун. Якщо при малих навантаженнях різниця в сумарній токсичності практично відсутня, то у разі збільшення навантаження, до максимальних значень сумарна токсичність газового двигуна зменшується до 55 % у порівнянні з дизелем.

Навантажувальні характеристики двигуна були описані поліноміальними моделями для використання в уточненій математичній моделі.

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ НА МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ДВИГУНАМИ ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛИВА

5.1 Вплив експлуатаційних факторів на показники транспортного засобу в їздовому циклі

На рис 5.1. показано отримані шляхом розрахунку на математичній моделі: витрата палива Q на 1 км пробігу автомобілів з дизелем, бензиновим і газовим двигуном; питомі викиди оксиду вуглецю CO , вуглеводнів C_mH_n , оксидів азоту NO_x , твердих частинок C та сумарні питомі приведені до оксиду вуглецю ΣCO , викиди ШР в міському їздовому циклі в залежності від маси вантажу m_v . З цих залежностей видно, що автомобіль з дизелем витрачає менше палива, в порівнянні з бензиновим двигуном на 31,8...33,4 %, викиди оксиду вуглецю CO менші на 91,8...93,4 %, викиди вуглеводнів C_mH_n менші на 98,4...97,7 %. По викидах NO_x в міському циклі автомобіль з дизелем викидає на 5,6...21 % більше ніж автомобіль з бензиновим двигуном. На відміну від автомобіля з бензиновим двигуном, автомобіль з дизелем ще і викидає тверді частинки. Таким чином, порівнюючи сумарні викиди, приведені до CO , видно, що в міському циклі більш токсичним (на 7,8...14,8%) є автомобіль з бензиновим двигуном.

Автомобіль з газовим двигуном, переобладнаним з бензинового, витрачає менше палива, в порівнянні з бензиновим двигуном на 11,5...13,5 %, викиди оксиду вуглецю CO менші на 70,5...76,2 %, викиди вуглеводнів C_mH_n більші на 1,6...22,4 %. По викидах NO_x в міському циклі автомобіль з газовим двигуном викидає на 1,2...11,1 % більше ніж автомобіль з бензиновим двигуном. Таким чином, порівнюючи сумарні викиди, приведені до CO , видно, що в міському циклі більш токсичним (на 23,1...34,7 %) є автомобіль з бензиновим двигуном.

Автомобіль з газовим двигуном, переобладнаним з дизеля, витрачає більше палива, в порівнянні з дизелем на 16,1...21,9 %, викиди оксиду вуглецю CO більші на 43,6...53,1 %, викиди вуглеводнів C_mH_n більші на 94,3...95,4 %.

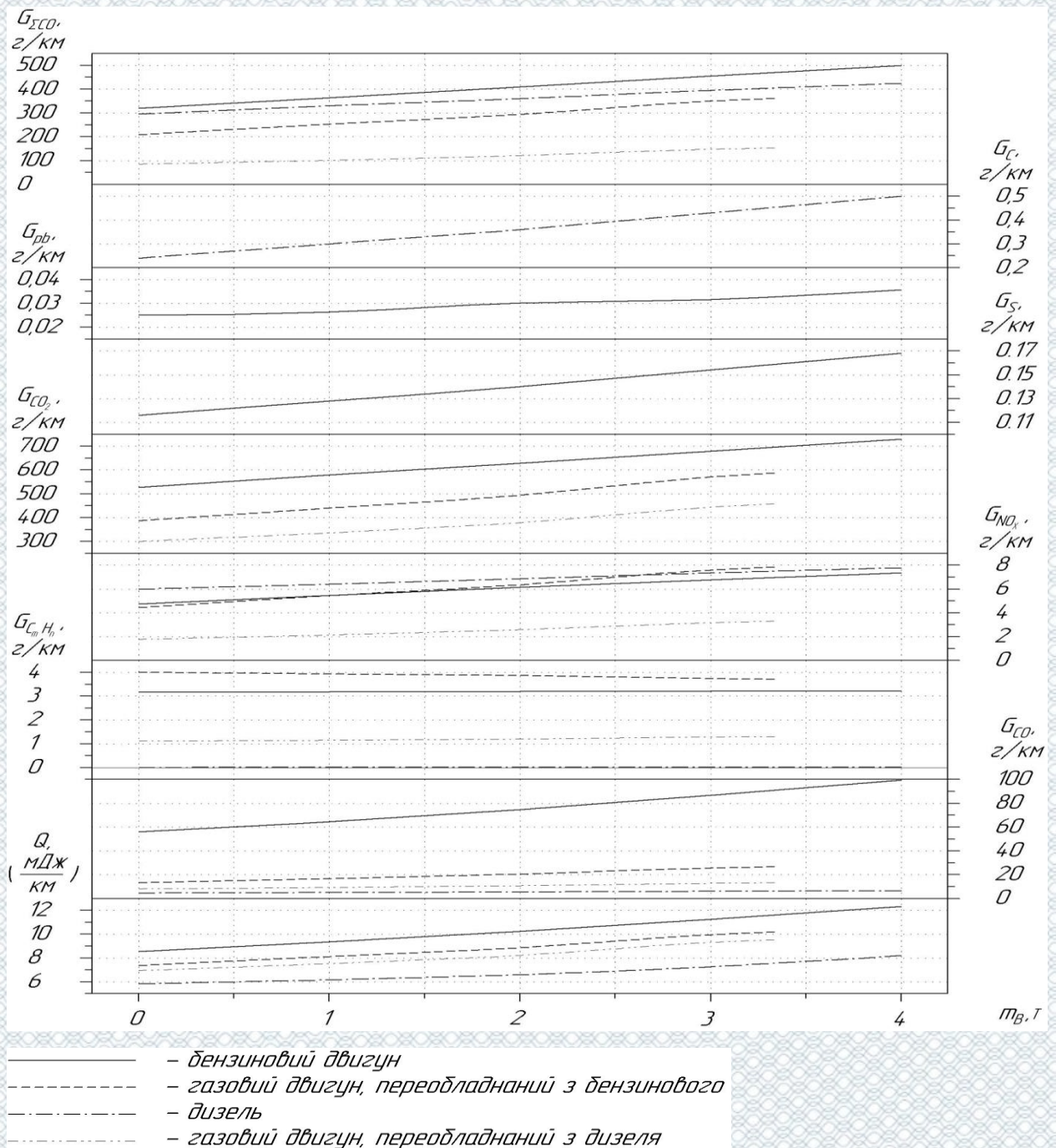


Рисунок 5.1 – Залежності витрати палива та викидів ШР автомобілів залежно від маси вантажу в міському їздовому циклі

По викидах NO_x в міському циклі автомобіль з газовим двигуном викидає на двигуном, автомобіль з дизелем ще і викидає тверді частинки. Таким чином, порівнюючи

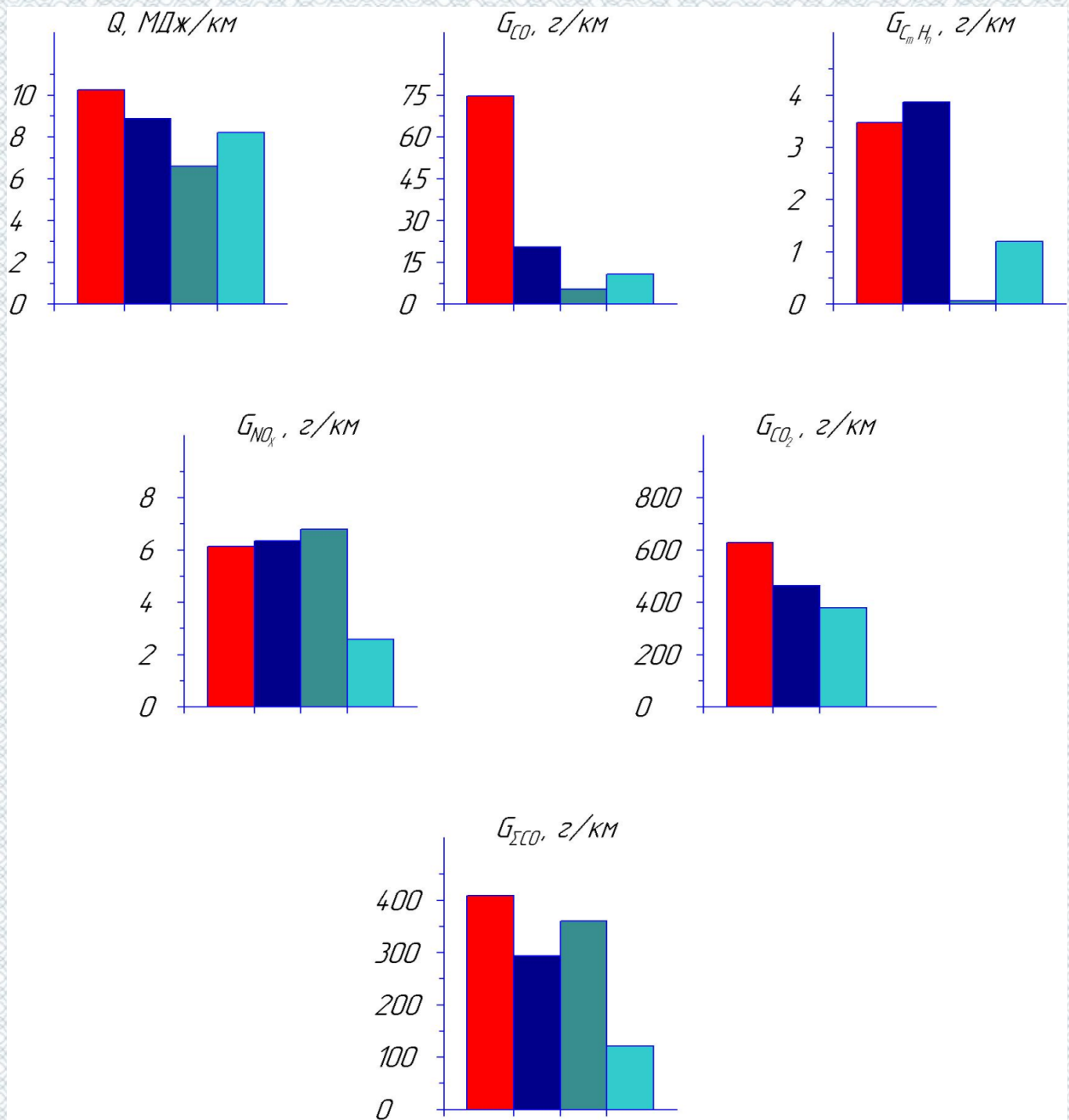
сумарні викиди, приведені до CO , видно, що в міському циклі більш токсичним (на 62,5...71,2 %) є автомобіль з дизелем.

5.2 Порівняльна оцінка паливної економічності та екологічних показників автомобілів з бензиновим, газовим і дизельним двигунами

Порівняння показників паливної економічності та токсичності при масі вантажу ($m_b = 2$ т) автомобілів, які використовують дизельне паливо, бензин і газ, при їх русі по міському їздовому циклі

На рис 5.2. показано порівняльну діаграму отриману шляхом розрахунку на математичній моделі: витрата палива Q на 1 км пробігу автомобілів з дизелем, бензиновим і газовим двигуном; питомі викиди оксиду вуглецю CO , вуглеводнів C_mH_n , оксидів азоту NO_x , твердих частинок S та сумарні питомі приведені до оксиду вуглецю ΣCO , викиди ШР в міському їздовому циклі при масі вантажу ($m_b = 2$ т). З цих залежностей видно, що автомобіль з дизелем витрачає менше палива, в порівнянні з бензиновим двигуном на 35,7 %, викиди оксиду вуглецю CO менші на 92,7 %, викиди вуглеводнів C_mH_n менші на 98,1 %. По викидах NO_x в міському циклі автомобіль з дизелем викидає на 10,6 % більше ніж автомобіль з бензиновим двигуном. На відміну від автомобіля з бензиновим двигуном, автомобіль з дизелем ще і викидає тверді частинки. Таким чином, порівнюючи сумарні викиди, приведені до CO , видно, що в міському циклі більш токсичним на 12 % є автомобіль з бензиновим двигуном.

Автомобіль з газовим двигуном, переобладнаним з бензинового, витрачає менше палива, в порівнянні з бензиновим двигуном на 13,5 %, викиди оксиду вуглецю CO менші на 72,6 %, викиди вуглеводнів C_mH_n більші на 10,1 %.



- – бензиновий двигун
- – газовий двигун, переобладнаний з бензинового
- – дизель
- – газовий двигун, переобладнаний з дизеля

Рисунок 5.2 – Порівняльна діаграма екологічних показників та паливної економічності автомобілів в міському їздовому циклі

По викидах NO_x в міському циклі автомобіль з газовим двигуном викидає на 3,5 % більше ніж автомобіль з бензиновим двигуном. Таким чином, порівнюючи сумарні викиди, приведені до CO , видно, що в міському циклі більш токсичним на 28,1 % є автомобіль з бензиновим двигуном.

Автомобіль з газовим двигуном, переобладнаним з дизеля, витрачає більше палива, в порівнянні з дизелем на 19,8 %, викиди оксиду вуглецю CO більші на 49,4 %, викиди вуглеводнів C_mH_n більші на 94,5 % ніж у автомобіля з дизелем. По викидах NO_x в міському циклі автомобіль з газовим двигуном викидає на 62,4 % менше ніж автомобіль з дизелем. На відміну від автомобіля з газовим двигуном, автомобіль з дизелем ще і викидає тверді частинки. Таким чином, порівнюючи сумарні викиди, приведені до CO , видно, що в міському циклі більш токсичним на 66,4 % є автомобіль з дизелем.

5.3 Висновки до розділу 5

Визначено показники паливної економічності та екологічні показники автомобілів з бензиновим, газовим і дизельним двигуном в міському їздовому циклі в залежності від маси вантажу.

Автомобіль при роботі на бензині та дизельному паливі може реалізувати цикл при масі вантажу ($m_v = 4$ т), при цьому питома еквівалентна витрата палива в порівнянні з бензиновим двигуном на 33,4 % нижча, а сумарні викиди, приведені до CO , менші на 14,8 %.

Автомобіль при роботі на ПГ, переобладнаному з бензинового двигуна може реалізувати цикл при масі вантажу ($m_v = 3,35$ т). При цьому питома еквівалентна витрата палива в порівнянні з бензиновим двигуном на 11,5 % нижча, а сумарні викиди, приведені до CO , менші на 23,1 %.

Автомобіль при роботі на ПГ переобладнаному з дизеля може реалізувати цикл при масі вантажу ($m_v = 3,35$ т). При цьому питома еквівалентна витрата палива в порівнянні з дизелем на 21,9 % вища, а сумарні викиди, приведені до CO , менші на 62,5 %.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що різке зростання кількості рухомого складу автомобільного транспорту, обмежений запас нафти на земній кулі і збільшення споживання рідкого палива на транспорті приводить до подорожчання як сирової нафти, так і одержуваних з неї нафтопродуктів. Тим часом в світі є великі запаси високоякісного моторного палива, це – ПГ. ПГ має кращі фізико-хімічні властивості і екологічні показники порівняно з паливом нафтового походження, що обумовлює його використання на автомобільному транспорті.

2. Вибрано їздовий цикл який буде використовуватись для дослідження витрати палива та викидів ШР в найбільш реальних експлуатаційних умовах роботи вибраних ТЗ. Уточнено комп'ютерну реалізацію математичної моделі алгоритмічною мовою Fortran за прийнятим їздовим циклом шляхом описання роботи двигуна за допомогою поліноміальних моделей. Підтверджена адекватність отриманих поліноміальних залежностей, які описують газовий двигун Д-240, як джерело шкідливих викидів і споживача газового палива з використанням F – критерію Фішера.

3. Вибрано об'єкти теоретичних досліджень. Досліджено показники газового двигуна, переобладнаного з дизеля Д-240 при роботі на ПГ. Його ефективна потужність близька до потужності базового дизеля, еквівалентна питома ефективна витрата палива на 16,8...25,6 % більша, ніж у дизеля. Сумарна токсичність $\sum CO$ відпрацьованих газів, газового двигуна та дизеля суттєво залежить від навантаження на двигун. Якщо при малих навантаженнях різниця в сумарній токсичності практично відсутня, то у разі збільшення навантаження, до максимальних значень сумарна токсичність газового двигуна зменшується до 55 % у порівнянні з дизелем.

4. Визначено показники паливної економічності та екологічні показники автомобілів з бензиновим, газовим і дизельним двигуном в міському їздовому циклі в залежності від маси вантажу. Автомобіль при роботі на бензині та дизельному паливі може реалізувати цикл при масі вантажу ($m_v = 4$ т), при цьому

питома еквівалентна витрата палива в порівнянні з бензиновим двигуном на 33,4 % нижча, а сумарні викиди, приведені до CO , менші на 14,8 %. Автомобіль при роботі на ПГ, переобладнаному з бензинового двигуна може реалізувати цикл при масі вантажу ($m_v = 3,35$ т). При цьому питома еквівалентна витрата палива в порівнянні з бензиновим двигуном на 11,5 % нижча, а сумарні викиди, приведені до CO , менші на 23,1 %. Автомобіль при роботі на ПГ переобладнаному з дизеля може реалізувати цикл при масі вантажу ($m_v = 3,35$ т). При цьому питома еквівалентна витрата палива в порівнянні з дизелем на 21,9 % вища, а сумарні викиди, приведені до CO , менші на 62,5 %.

5. Розрахунки за результатами експериментальних досліджень питомих масових викидів шкідливих речовин показують, що переобладнання дизелів вантажних автомобілів для роботи на природному газі підтверджує доцільність такого переобладнання і використання на транспортних засобах.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Каніло П.М. Автомобіль та навколишнє середовище / П.М. Каніло, І.С. Бей, О.І. Ровенський. - Харків.: Прапор, 2000. - 304 с.
2. Пальчик М.О. Застосування етилового спирту як додатку до бензину / М.О. Пальчик // Тези VIII студентської науково-технічної конференції машинобудівного факультету "Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті". Луцьк: Луцький НТУ - 2017 р. - С. 199-200.
3. Морев А.И. Эксплуатация и техническое обслуживание газобаллонных автомобилей / А.И. Морев, В.И. Ерохов. -М.: Транспорт, 1988. - 184 с.
4. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія / В.П. Матейчик. - К.: НТУ, 2006.-216 с.
5. Захарчук В.І. Застосування альтернативних палив в автотракторних дизелях / В.І. Захарчук // Энергозбережение. - 2010. - №2. - С. 27-28.
6. Bus&Coach Buyer/ Gas Bus Enviro 400. [Електронний ресурс]: <http://www.busandcoachbuyer.com>.
7. Nylund N.O. Pathways For Natural Gas Into Advanced Vehicles / N.O Nylund, J. Laurikko, M. Ikonen. - Brussel: IANGV, - 2002. - 105 p.
8. Fritz S.G., Egbuonu R.J. Emissions from heavy-duty trucks converted to CNG // Trans. ASME. J. Eng. Gas Turbines and Power. - 1992. - № 3. - P. 114-121.
9. Gettel L.E., Perry G.C., Boisvert J., O'Sullivan P.J. Microprocessor Duel-Fuel Diesel Engine Control System // SAE Techn. Paper Ser. - 1986. -№ 861577. - P. 1-10.
10. Nylund N.O. Pathways For Natural Gas Into Advanced Vehicles / N.O Nylund, J. Laurikko, M. Ikonen. - Brussel: IANGV, - 2002. - 105 p.
11. Бганцев В.Н. Газовый двигатель на базе четырехтактного дизеля общего назначения / В.Н. Баганцев, А.М. Левтеров, В.П. Мараховский // Техно - plus. - 2003.-№10.-С.74-75.
12. Богомолов В. А. Особенности конструкции экспериментальной установки для проведения исследований газового двигателя 6413/14 с искровым

зажиганием / В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук, В.М. Манойло, А.И. Воронков, С.В. Салдаев, А.Н. Кабанов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - Харьков: ХНАДУ, 2007. - № 37. - С. 43-47.

13. Захарчук В.І. Дослідження можливості конвертації дизеля в газовий двигун / В.І. Захарчук, О.П. Сітовський, І.С. Козачук, В.П. Матейчик // Наукові нотатки: міжвузівський збірник №13. - Луцьк: ЛДТУ, 2003. -С. 125-129.

14. Захарчук В.І. Улучшение эксплуатационных свойств газового двигателя, конвертированного с дизеля / В.І. Захарчук, О.П. Сітовський, О.В. Захарчук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля, №7,2006.

15. Захарчук В.І. Удосконалення газового двигуна, конвертованого з дизеля // В.І. Захарчук, О.В. Захарчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. За напрямом⁴⁴ "Інженерна механіка". Випуск 18, 2006.

16. Захарчук О.В. Теоретичні дослідження показників колісного трактора з газовим двигуном / О.В. Захарчук // Сільськогосподарські машини: збірник наукових статей. - Випуск 23. - Луцьк, 2012. - С. 51-55.

17. Захарчук О.В. Визначення доцільних швидкостей усталеного руху колісного трактора з газовим двигуном / О.В. Захарчук // Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей. - Випуск 24, Луцьк, 2013. - С. 136-141.

18. ГОСТ 20306-90. Топливная экономичность автотранспортных средств. Номенклатура показателей и методы испытаний.

19. Иванов В.Н. Экономия топлива на автомобильном транспорте / В.Н. Иванов, В.И. Ерохов. - М.: Транспорт, 1984. - 302 с.

20. Дмитриевский А.В. Топливная экономичность бензиновых двигателей / А.В. Дмитриевский, Е.В. Шатров. -М.: Машиностроение, 1985. - 208 с.

21. Сравнение оценки топливной экономичности легковых автомобилей по циклу ЕРА с действительными расходами топлива// Поршневые и газотурбинные двигатели. - М.: ВИНТИ. - №9, реф. 296, 1980. - С. 9-11.

22. Диваков Н.В., Стрельников А.Н. Топливный баланс автомобиля / Н.В.

Диваков, А.Н. Стрельников // Автомобильная промышленность. - №8, 1981. - С. 13-15.

23. Новые нормы определения расхода топлива легковыми автомобилями // Автомобильная промышленность США. -№3, 1996. - С. 15-16.

24. Токарев А.А. Выбор неадекватных конструктивных параметров автомобиля и его агрегатов с помощью КПД / А.А. Токарев // Автомобильная промышленность. - №1, 2001. - С. 9-11.

25. Фаробин Я.Е., Кравцева В.А. Расчетная методика определения показателей топливной экономичности автотранспортных средств / Я.Е. Фаробин, В.А. Кравцева // Пути повышения производительности автотранспортных средств. -М., 1982. - С. 32-35.

26. Великанов Д.П. Автомобильные транспортные средства / Д.П. Великанов, В.И. Бернацкий, Б.Н. Нифонтов, И.П. Плеханов. Под ред. Д.П. Великанова. -М.: Транспорт, 1977. - 326 с.

27. Еврецкий В.Т., Трегубов В.А. Материальные нормативы на автомобильном транспорте: Разработка и оценка использования / В.Т. Еврецкий, В.А. Трегубов. -М.: Транспорт, 1986. - 128 с.

28. Великанов Д.П. Эксплуатационные качества автомобилей / Д.П. Великанов. - М.: Автотрансиздат, 1962. - 399 с.

29. Токарев А.А. Базисные расходы топлива: согласование нормативных показателей, применяемых автомобилестроителями и эксплуатационниками / А.А. Токарев, В.Ф. Кутенев, Э.И. Наркевич и др. // Автомобильная промышленность. - №1, 1984. - С. 1-3.

30. Токарев А.А. О перспективных нормах расхода топлива грузовыми автомобилями / А.А. Токарев, Р.Г. Галустян, Э.И. Наркевич, и др. // Автомобильная промышленность. -№2, 1982. - С. 12-13.

31. Гришкевич А.И. Автомобили / А.И. Гришкевич. - М.: Выш. шк., 1986. - 208 с.

32. Шарай С.М. Оценка топливной экономичности автомобилей с использованием статистических характеристик дорожных условий: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.03. - К., 1990. - 21 с.
33. Кошарний М.Ф. Основи механіки та енергетики автомобіля / М.Ф. Кошарний. - К.: Вища школа. 1992. - 200 с.
34. ГОСТ 17.2.2.01-84 Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений.
35. ГОСТ 21393-75 Автомобили с дизелями. Дымность О.Г. Нормы и методы измерений.
36. ГОСТ 20306-90 Топливная экономичность автотранспортных средств. Номенклатура показателей и методы испытаний.
37. ОСТ 37.001.054-86 Автомобили и двигатели. Выбросы вредных веществ. Нормы и методы определения.
38. ОСТ 37.001.234-81 Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Выбросы вредных веществ с О.Г. Нормы и методы измерения.
39. ОСТ 37.001.070-75 Двигатели бензиновые грузовых автомобилей и автобусов. Выделение вредных веществ. Методы определения.
40. ГОСТ 17.2.2.03-87 Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерений содержания окиси углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Требования безопасности.
41. ГОСТ 17.2.1.02-86 Охрана природы. Атмосфера. Выброс вредных веществ автомобилями, тракторами и двигателями. Термины и определения.
42. Фаробин Я.Е., Кравцева В.А., Матвеева А.И. Расчет расхода топлива автомобиля при движении его по заданному маршруту / Я.Е. Фаробин, В.А. Кравцева, А.И. Матвеева//ТрудыМАДИ. - 1979. -Вып. 173. -С. 10-21.
43. Зимелев Г.В. Теория автомобиля. - 2-е изд., перераб. / Г.В. Зимелев. - М.: Воениздат, 1957. -455 с.
44. И Ларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля / В.А. Иларионов. - М.: Машиностроение, 1966. - 280 с.

45. Лупачев П.Д., Сухарева Л.С. Особенности ездового цикла грузового автомобиля // Защита окружающей среды в связи с развитием автомобилизации. - М.: ВЗМИ, 1979, С. 36-41.

46. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путём оптимизации эксплуатационных факторов: Дисс... докт. техн. наук. - Киев., 1985. - 533 с.

47. Измерения токсичных компонентов в отработавших газах легковых автомобилей с бензиновыми двигателями // Экологические проблемы на транспорте. Российская академия наук. Министерство науки, высшей политики Российской Федерации. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ). Москва № 7. - 1993 С. 5-21.

48. Редзюк А.М., Гутаревич Ю.Ф. Нормування екологічних показників ДТЗ: розвиток, стан і перспективи // Автомобільний транспорт. - 2001. - № 4. - С. 2-

49. ГОСТ 20306-90 Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. - Введ. 01.01.92. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 32 с.

50. ОСТ 37.001.070-75. Двигатели бензиновые грузовых автомобилей и автобусов. Выделение вредных веществ. Введ. 01.01.76. - М.: Изд-во стандартов, 1976.

51. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / Ю.Ф. Гутаревич. - К: Выща школа, 1991. - 179 с.

52. Захарчук В.І. Можливість переобладнання дизелів сільськогосподарської техніки в газові двигуни /В.І. Захарчук, І.С. Козачук, О.В. Захарчук // Сільськогосподарські машини: збірник наукових статей. - Випуск 18. - Луцьк, 2009. - С. 127-132.

53. Пат. 40172 UA. МПК(2009) F02B 11/00. Система запалювання конвертованого з дизеля газового двигуна внутрішнього згоряння / В.І. Захарчук, О.В. Захарчук, Л.М. Середюк, В.О. Сітовський (Україна). - Опубл. 25.03.2009, Бюл. №6.

54. Захарчук В.И. Переоборудование дизелей в газовые двигатели с искровым зажиганием / В.И. Захарчук, И.С. Козачук, О.В. Захарчук // Транспорт на альтернативном топливе. - 2008. - №4. - С. 50-53.

55. Матейчик В.П. Дорожні випробування колісного трактора з газовим двигуном / В.П. Матейчик, В.І. Захарчук, О.П. Сітовський, О.В. Захарчук // Техніка і технології АПК, 2010. - №1. - С. 22-26.

56. Захарчук О.В. Експериментальні дослідження колісного трактора при роботі на альтернативному паливі / О.В. Захарчук, О.П. Сітовський // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. - №6. - 2010. - С. 114-117.

57. Захарчук В.И. Метод расчетно-экспериментального исследования показателей колесного трактора при его работе на альтернативном топливе / В.И. Захарчук, О.В. Захарчук // Материалы Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве». - Минск, 2010. - С. 243-248.

58. Кузьменко А.П. Покращення показників малолітражного газового двигуна з іскровим запалюванням за рахунок вибору параметрів, що визначають процес згоряння. Автореферат дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / А.П. Кузьменко. - Харків, 2012.-20 с.

59. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко - М.: Транспорт, 1990 - 135 с.

60. Захарчук О.В. Покращення експлуатаційних показників колісного трактора з переобладнанням з дизеля газовим двигуном: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.20 / Захарчук Олег Вікторович. - К., 2013. - 199 с.

61. Біліченко В. В. Автомобілі та автомобільне господарство. Дипломне проектування : навчальний посібник / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький, В. В. Варчук. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 172 с.

62. Біліченко В. В. Проектування та експлуатація технологічного обладнання: курсове проектування:навчальний посібник / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький. – Вінниця: ВНТУ, 2010 – 104 с.

63. Галузева тарифна угода між міністерством транспорту України і профспілками працівників автомобільного транспорту та шляхового господарства України по галузі автомобільного транспорту на 2002-2003 роки.

64. ГОСТ 12.2.027 – 80 ССБТ. Оборудование гаражное и авторемонтное. Требования безопасности.

65. Закон України Про транспорт №232/94-ВР/ Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2013. – (Бібліотека офіційних видань). – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/232/94-вр>

66. Иванов В. Б. Справочник по нормированию труда на автомобильном транспорте / В. Б. Иванов, А. Г. Ковалик. – Техника, 1991. – 174 с.

67. Индекс инфляции (Украина) 2000-2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://index.minfin.com.ua/index/inf/>.

68. Канарчук В. Є. Організація виробничих процесів на транспорті в ринкових умовах / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко та інші – К.: Логос, 1996. – 348 с.

69. Кузнецов Ю. М. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта. Справочник / Ю. М. Кузнецов – М.: Транспорт 1996. – 272 с

70. Кукурудзяк Ю. Ю. Дипломне проектування виробничих підрозділів підприємств автомобільного транспорту/ Ю. Ю. Кукурудзяк, О. В. Рудь, Л. В. Кукурудзякю. – Вінниця, 2010. – 332с.

71. Курников І. П. Технологічне проектування ПАТ / І. П. Курников. – К.: Вища школа, 1993р. – 191с.

72. Методичні вказівки для виконання практичних робіт з дисципліни “Економічне обґрунтування інноваційних рішень” для студентів спеціальності 7(8).07010601 – «Автомобілі та автомобільне госпо дарство» денної та заочної форми навчання / Уклад. В. В. Біліченко, С. О. Романюк – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 39 с.

73. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни «Виробничо-технічна база підприємств автомобільного транспорту» за

напрямом «Проектування автотранспортних підприємств» для студентів спеціальності 7(8).07010601 – Автомобілі та автомобільне господарство денної та заочної форми навчання / Уклад. В. В. Біліченко, С. О. Романюк, Є. В. Смирнов – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 119 с.

74. Напольский Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания / Г. М. Напольский. – М. : Транспорт, 1985. – 231 с.

75. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта : ОНТП-01-91 (РД 3107938-0176-91). – [Действителен от 1992-01-01]. – М. : Гипроавтотранс, 1991. – 184 с.

76. Соя В.В. Сучасні альтернативні палива/ В.В. Соя, В.В. Біліченко, С.С. Коробов // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція: «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи». – Вінниця, 2019 Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/schedConf/presentatios>





ДОДАТКИ: