

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ЗАХАРЧУК ВІКТОР ІВАНОВИЧ

УДК 629.016

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ
МОТОРНИХ ПАЛИВ У ЗАСОБАХ ТРАНСПОРТУ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Луцькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: Заслужений діяч науки і техніки України, академік Інженерної академії України, доктор технічних наук, професор **Хайліс Гедаль Абрамович**, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, професор кафедри інженерного та комп'ютерного забезпечення агропромислового комплексу

Офіційні опоненти: Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор **Біліченко Віктор Вікторович**, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту

доктор технічних наук, професор **Кравченко Олександр Петрович**, Житомирський державний технологічний університет, м. Житомир, професор кафедри автомобілів та автомобільного господарства

доктор технічних наук, професор **Шаша Ігор Костянтинович**, Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, професор кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин

Захист відбудеться 29 червня 2016 року о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Петровського, 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Петровського, 25.

Автореферат розісланий 27 травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Павленко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В даний час перед людством стоять дві глобальні проблеми: світовий дефіцит нафти та забруднення навколишнього середовища викидами шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) різних видів техніки. Суттєво вирішити ці проблеми можна використанням альтернативних моторних палив.

На сьогоднішній день у нашій державі є великий парк колісних транспортних засобів та мобільної сільськогосподарської техніки, які працюють на паливі нафтового походження. Але вартість палива весь час зростає, погіршується також екологічна ситуація в країні. Одним з основних шляхів виходу з цієї ситуації є адаптація техніки до роботи на альтернативних паливах.

Значна частина вантажних автомобілів та колісних тракторів (зокрема класу 1,4) в сільськогосподарському виробництві, комунальному господарстві та промисловості використовується в якості технологічного транспорту. В цьому випадку передбачений їх заїзд у приміщення та тривала робота в цих приміщеннях. Вже через декілька хвилин роботи двигуна в закритому приміщенні гранично допустимі концентрації викидів з ВГ шкідливих речовин (ШР) перевищують допустиму норму. В зв'язку з цим, дослідження, спрямовані на підвищення екологічної безпеки цього виду транспорту шляхом обґрунтованого вибору альтернативних моторних палив, є актуальними.

Можливість застосування певного виду альтернативного моторного палива (АМП) визначається його регіональними ресурсами, співвідношенням цін між альтернативними та традиційними паливами, витратами на адаптацію двигунів для роботи на АМП, на інфраструктуру доставки, зберігання та заправки техніки. Стосовно технологічних транспортних засобів, то на даний час пріоритет по АМП належить біопаливам на основі рослинних олій та газовому паливу.

Переведення транспортних засобів, які знаходяться в експлуатації, на альтернативні палива призводить до зміни ряду їх експлуатаційних властивостей, в тому числі до зміни екологічних характеристик відпрацьованих газів. В цьому випадку правильний вибір палив дозволяє вирішити відразу два завдання: підвищити екологічну безпеку транспортних засобів (ТЗ) та зменшити використання нафти на потреби транспорту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась у відповідності з державними програмами щодо використання АМП, зокрема у відповідності з «Енергетичною стратегією України до 2030 року», та відповідно до плану науково-дослідних робіт Луцького національного технічного університету на 2003-2015 роки, а також згідно із держбюджетною темою «Вдосконалення технології переобладнання дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням» № держреєстрації 0108U001090, держбюджетною темою «Технологія отримання та ефективного використання моторного біопалива з покращеними експлуатаційними властивостями» № держреєстрації 0110U002223 та держбюджетною темою «Розробка механізмів ефективного використання альтернативних моторних палив та альтернативних джерел енергії в двигунах

мобільної техніки» № держреєстрації 0115U002206, під час виконання яких здобувач був відповідальним виконавцем.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є розробка методологічних основ використання моторних палив у технологічних транспортних засобах за критеріями адаптованості, екологічної безпеки та економічної ефективності, які дозволяють комплексно оцінити ефективність використання альтернативних моторних палив. Відповідно до мети дослідження у дисертаційній роботі вирішуються такі завдання:

- розробка загальної методології оцінювання показників функціонування технологічних ТЗ на АМП та методу вибору альтернативних палив, які дозволяють комплексно оцінити перспективність перевodu транспортних засобів на альтернативні палива за критеріями адаптованості, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації; розробка методу оцінки екологічних показників засобів технологічного транспорту за кількістю, гранично допустимими концентраціями та класом небезпеки ШР, які викидаються з ВГ;

- розробка математичних моделей елементів системи «паливо-двигун-транспортний засіб» для оцінки ефективності застосування альтернативних моторних палив для ТЗ;

- експериментальна перевірка адекватності математичних моделей підсистем системи. Перевірка адекватності математичної моделі системи в цілому;

- теоретичне та експериментальне дослідження доцільності застосування для технологічного транспорту альтернативних моторних палив: ріпакового ізопропілового ефіру та його сумішей з нафтовим дизельним паливом; природного газу; зрідженого нафтового газу;

- вибір раціонального виду палива для технологічного транспорту за одним загальним критерієм;

- розробка методики створення комплексної цільової програми застосування альтернативних моторних палив в автотракторній техніці.

Об'єкт дослідження – процес експлуатації транспортних засобів на альтернативних моторних паливах.

Предмет дослідження – методологічні основи використання моторних палив в засобах технологічного транспорту.

Методи досліджень. Розробка методологічних основ використання АМП здійснювалась широким застосуванням методів системного аналізу, що дозволило створити структуру та модель функціонування системи. Вибір раціонального виду АМП для технологічних ТЗ здійснювався методом багатокритеріальної оптимізації. Оцінку адаптованості системи до АМП виконано за методикою, розробленою на основі методу аналізу ієрархій. Експериментальним методом досліджено ефективні та екологічні показники двигунів під час роботи на нафтовому паливі та АМП та перевірено адекватність математичних моделей руху технологічних транспортних засобів. Розрахунковим методом визначено коефіцієнти поліноміальних моделей, які описують двигуни як споживачі палива та джерело викидів ШР з ВГ під час роботи на нафтовому паливі та АМП. З використанням уточненої математичної моделі розраховано показники паливної економічності та токсичності трактора МТЗ-80 під час руху за їздовим циклом.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше з системних позицій розроблена методологія оцінювання показників функціонування технологічних ТЗ на АМП з врахуванням умов експлуатації, в рамках якої:

- вперше розроблено модель функціонування системи „паливо-двигун-транспортний засіб” з використанням системних об’єктів, які мають місце в експлуатаційних умовах, яка на відміну від існуючих, дозволяє оцінювати вплив виду використовуваного палива на показники технологічних ТЗ одночасно за критеріями адаптованості, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації, які включає в себе загальний критерій вибору палива;

- вперше з використанням методу аналізу ієрархій визначено адаптованість системи до різних видів АМП;

- на основі комплексної оцінки доцільності переведення ТЗ на АМП з врахуванням вибраних критеріїв визначені раціональні види палив для технологічних ТЗ.

Удосконалено:

- метод оцінки екологічних показників засобів технологічного транспорту, за яким вперше визначено критерій екологічної безпеки ТЗ за кількістю, гранично допустимими концентраціями та класом небезпеки шкідливих речовин, які викидаються з відпрацьованими газами.

Отримали подальший розвиток:

- метод оцінки енергетичних та паливо-економічних показників двигуна під час використання альтернативних палив, згідно з яким потужність двигуна визначалась за кількістю та теплотою згоряння паливо-повітряних сумішей;

- метод оцінки економічної ефективності використання АМП за критерієм економічної ефективності експлуатації ТЗ на кожному з видів палива.

Практичне значення одержаних результатів складають:

- модель функціонування системи «паливо-двигун-транспортний засіб», яка дає можливість раціонального вибору палив, а також технічних рішень і заходів, пов’язаних з переведенням ТЗ на альтернативні палива; у зниженні екологічної небезпеки ВГ шляхом вибору раціональних видів альтернативних палив;

- математичні моделі, алгоритми та програми розрахунків економічних та екологічних показників ТЗ під час їх роботи на різних паливах з використанням характеристик ДВЗ;

- технології та способи переобладнання дизеля колісного трактора для роботи на АМП і конструкції таких двигунів та їх систем. Конструктивні особливості колісного трактора, адаптованого для роботи на АМП;

- база даних по АМП та показниках транспортних засобів під час роботи на цих паливах для підготовки підручників та навчальних посібників;

- рекомендації щодо раціонального вибору АМП для ТЗ; методика розробки комплексної цільової програми використання АМП.

Результати науково-технічних розробок, виконаних під час виконання дисертаційної роботи, доведені до стадії моторних випробувань дизеля та дорожніх випробувань трактора на новому біопаливі, вдосконалення дослідного зразка переобладнаного з дизеля газового двигуна і проведення його випробувань,

модернізації експериментального зразка трактора МТЗ-80 з газовим двигуном і проведення його випробувань при виконанні транспортної роботи.

Результати дисертаційної роботи прийняті до використання в Департаменті науково-освітнього забезпечення та розвитку підприємництва на селі Міністерства аграрної політики та продовольства України, Луцькій райдержадміністрації, Володимир-Волинському агротехнічному коледжі, аграрному підприємстві «Городище» Луцького району Волинської області.

Матеріали роботи застосовуються в навчальному процесі Луцького НТУ під час викладання дисциплін «Теоретичні та експериментальні дослідження ДТЗ», «Методи оптимізації та комп'ютерні технології», «Автомобільні двигуни».

Технологія переобладнання дизелів для роботи на природному газі зайняла перше місце в одному з пріоритетних напрямків на Всеукраїнському конкурсі інноваційних технологій, що проводився Міністерством освіти та науки України і Міністерством промислової політики у 2006 році.

Особистий внесок здобувача. Основні результати досліджень, що увійшли до дисертаційної роботи, отримані автором особисто. У працях із співавторами автор здійснював постановку завдань і розробляв методи їх розв'язання [2, 3, 4, 18], проводив теоретичні і експериментальні дослідження [5, 6, 7, 12, 14, 22], виконував аналіз результатів досліджень та формулював висновки [8, 9, 10, 11, 20], розробляв рішення щодо зменшення ступеня стиску газового двигуна, обмеження його максимальної частоти обертання, адаптації серійної системи запалювання [23, 24, 25, 26]. Особисто автором розроблена загальна методологія оцінювання показників функціонування технологічних транспортних засобів на різних паливах та метод вибору альтернативних палив, розроблено модель функціонування системи „паливо-двигун-транспортний засіб”, розроблені методи та уточнені математичні моделі для визначення показників паливної економічності та викидів ШР ТЗ під час роботи на різних паливах, отримані аналітичні залежності для визначення екологічних показників ТЗ при роботі на різних паливах, розроблено комплекс критеріїв вибору раціонального виду палива та виконана оцінка експлуатаційних показників палив, виконана оцінка перспективності переведення технологічних транспортних засобів на альтернативні палива з позицій адаптованості, екологічності та економічної ефективності експлуатації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та висновки роботи були предметом обговорення на: XIII міжнародній науково-технічній конференції “Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи” (м. Севастополь, 2010 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної галузі» (м. Луцьк, 2010 р.); III міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Житомир, 2010 р.); III міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в агропромисловому і лісовому комплексах та переробній галузі» (м. Луцьк, 2011 р.); II та III Міжнародних науково-технічних конференціях «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (м. Луцьк, 2012, 2014 роки); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Житомир,

2014 р.); наукових конференціях Луцького національного технічного університету (2004-2015 р.). Результати роботи експонувались на виставках, зокрема технологія переобладнання дизелів у газові двигуни експонувалась на V Національній виставці високих технологій та конкурентоспроможної продукції «Укртехнологія - 2006» і була відзначена дипломом виставки.

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 36 наукових працях. Серед них одна монографія, 21 стаття у наукових фахових виданнях, 6 праць у закордонних виданнях, в тому числі 6 публікацій у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз. За результатами досліджень отримано 5 патентів.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 229 найменувань та додатків. Повний обсяг дисертації становить 343 сторінки, з них 70 рисунків за текстом, 58 таблиць за текстом, список використаних джерел на 27 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито суть і стан проблеми вибору та використання моторних палив у транспортних засобах, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У **першому розділі** обґрунтовується доцільність використання альтернативних моторних палив у двигунах транспортних засобів. Розглянуто види альтернативних палив та їх хімотологічні властивості. Виконаний аналіз застосування біопалив у дизелях та висвітлені основні проблеми забезпечення їх роботи на цих паливах. Розглянуто стан питання із застосуванням природного газу в якості моторного палива та особливості використання колісних тракторів в якості технологічних транспортних засобів. Аналіз методик оцінки екологічної перспективності альтернативних видів палива показав, що критерії оцінки повинні включати в себе не тільки кількість викидів шкідливих речовин, але і їх токсичність та клас небезпеки. Висвітлено особливості використання різних видів техніки в якості технологічного транспорту.

Застосування альтернативних видів палив у порівнянні з базовими веде до зміни тягово-швидкісних властивостей, паливної економічності, надійності, конструкційної та екологічної безпеки транспортного засобу. Причому в альтернативних паливах є резерв покращення деяких показників, зокрема екологічних. Застосування альтернативних палив неоднозначно впливає на масові, габаритні, тягово-швидкісні, економічні та екологічні показники ТЗ, тому потребує всебічної оцінки доцільності їх використання. В цій предметній області вітчизняними та зарубіжними вченими досліджено та отримано вагомий результати з широкого кола окремих аспектів проблеми. Але на даний час відсутні комплексні дослідження системи «паливо-двигун-транспортний засіб», які з системних позицій дозволили б розробити наукові методи та інженерні методики оцінки впливу використовуваного палива на енергетичні, екологічні та економічні показники

засобів технологічного транспорту, відсутній також метод оцінки викидів шкідливих речовин технологічним транспортом.

Другий розділ присвячений розробці загальної методології оцінювання показників функціонування технологічних ТЗ на АМП. Розглянуто загальні положення теорії вибору альтернативних палив для транспортних засобів. Для вирішення проблеми вибору АМП для технологічних ТЗ обрано системний підхід. Ідеї системного підходу для дослідження проблем автомобільної техніки та транспорту успішно застосовували такі вчені як Безбородова Г.Б., Говорущенко М.Я., Туренко А.М., Гутаревич Ю.Ф., Матейчик В.П., Маяк М.М., Біліченко В.В., Кравченко О.П., Шаша І.К., Островцев А.Н., Іванов В.М., Єрохов В.І., Луканін В.М., Трофименко Ю.В., Базаров Б.І. та ін. Однак системні дослідження доцільності застосування альтернативних моторних палив в технологічних транспортних засобах не виконувались.

Застосування системних принципів дозволило дослідження процесу експлуатації ТЗ на АМП здійснити на моделі експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб (рис.1).

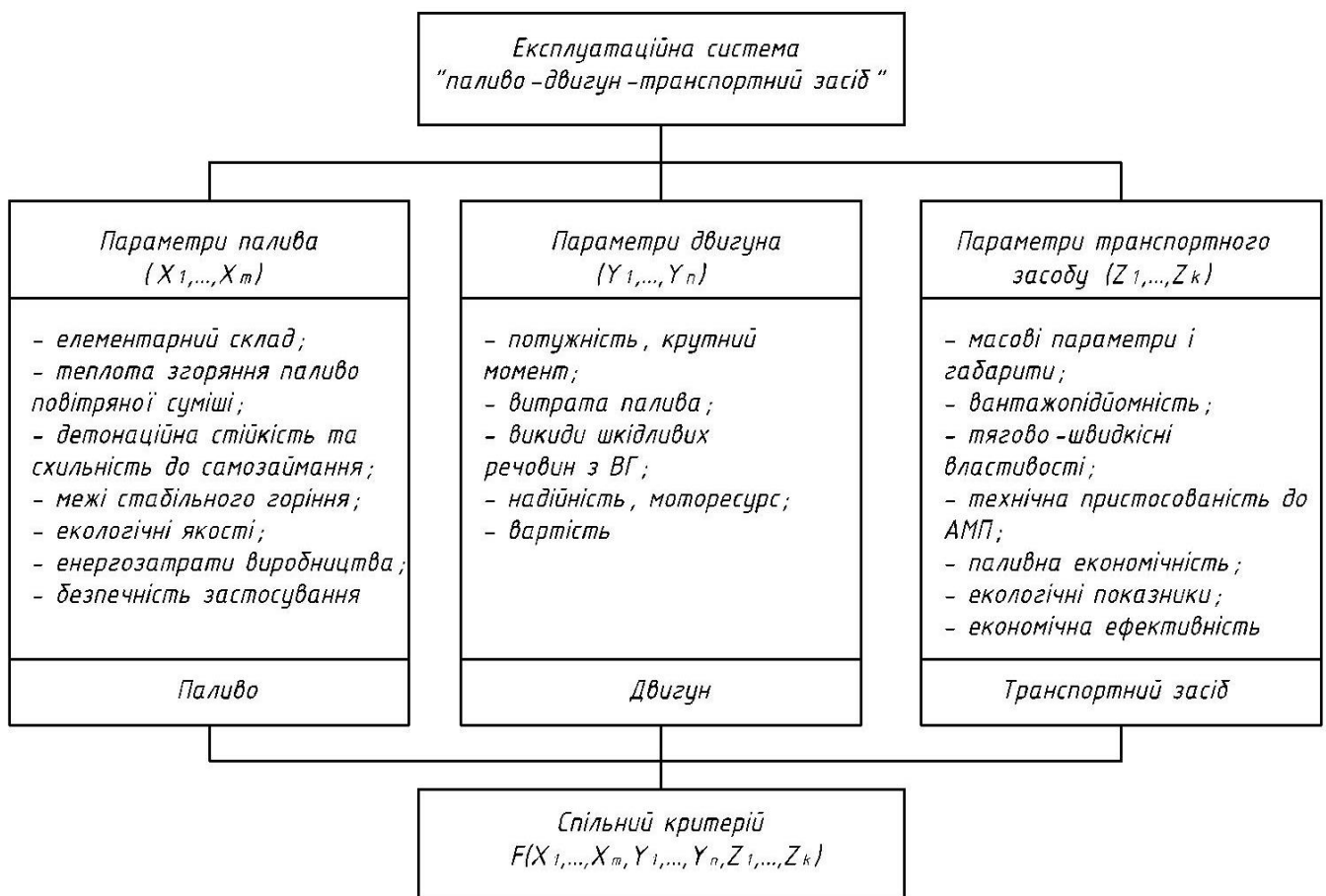


Рисунок 1 – Схема експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб»

Виконано морфологічний аналіз системи. Ранжуванням визначені найбільш важливі експлуатаційні параметри двигуна для оцінки його роботи на різних паливах: потужність та витрата палива, а для транспортного засобу: екологічні

показники та економічна ефективність експлуатації. Ці параметри будуть оцінюватись у подальших дослідженнях.

На вхід системи подаються різні види палива, які характеризується своїм елементарним складом, нижчою теплотою згоряння, ціною та іншими показниками. Виходом системи є загальний критерій вибору палива.

Завдання вибору палива для ДВЗ зведено до задачі оптимізації параметрів експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб», тобто до відшукування таких значень $x_1, \dots, x_m, y_1, \dots, y_n, z_1, \dots, z_n$ при яких виконується умова $F(x_1, \dots, x_m, y_1, \dots, y_n, z_1, \dots, z_n) \rightarrow \max$ (якщо параметри одного напрямку), де $x_i \in x$ – множина параметрів палива), $y_i \in y$ – множина параметрів двигуна, $z_i \in z$ – множина параметрів транспортного засобу, або до доведення, що таких значень на множині $X \cup Y \cup Z$ (область визначення параметрів системи «паливо-двигун-транспортний засіб») не існує.

В роботі вперше розроблена загальна методологія вибору моторних палив для технологічних транспортних засобів за одним критерієм, який включає в себе критерій адаптованості K_a системи до альтернативних моторних палив, критерій екологічної безпеки K_e ТЗ та критерій економічної ефективності експлуатації $K_{ек}$. Структурна схема методу вибору моторних палив показана на рис. 2.

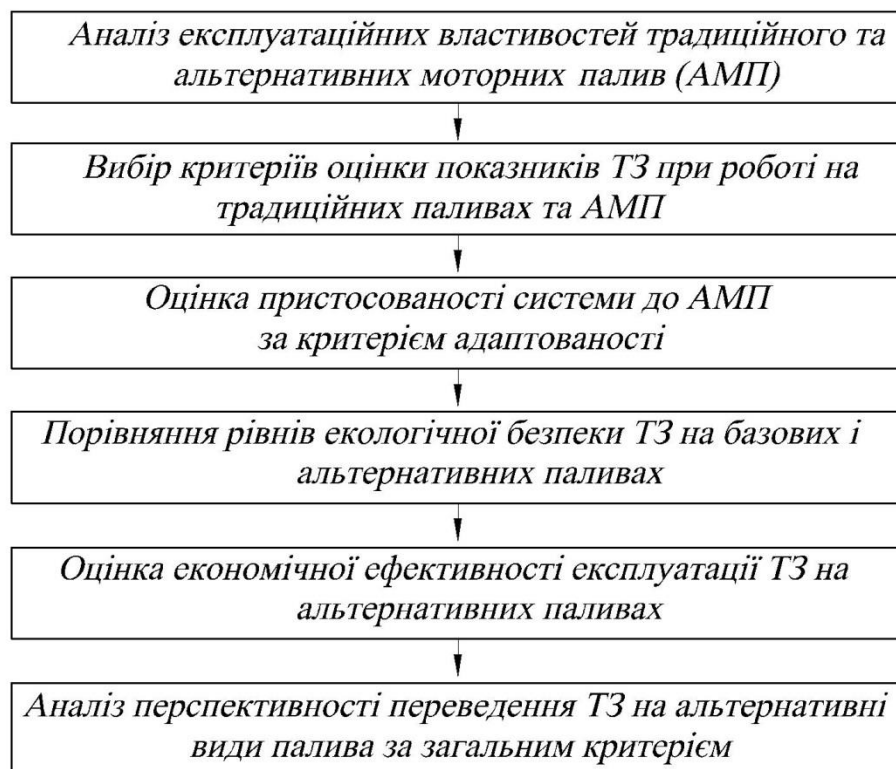


Рисунок 2 – Структурна схема методу вибору моторних палив

Розроблені функціональні схеми оцінки адаптованості, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації ТЗ на АМП з розділенням завдання на три етапи (декомпозиція значно знижує розмірність задачі) дозволили отримати повне вирішення поставлених завдань дослідження.

I етап. Вирішується завдання, де з m можливих альтернативних видів палива формується множина з n , а, потім, з t альтернативних палив. Після ухвалення рішення про дослідження в процесі формування завдання створюються банки даних по підсистемах «паливо», «двигун» і «транспортний засіб». Визначаються функціональні зв'язки у вигляді залежностей параметрів і характеристик трьох функціональних підсистем. Далі проводиться порівняльна оцінка експлуатаційних властивостей ТЗ, що працюють на альтернативних і базових видах палива за критерієм K_a адаптованості системи до альтернативних видів палива..

II етап. Подальше дослідження включає розв'язок задачі, в якій система «паливо-двигун-транспортний засіб» оптимізується за критерієм екологічної безпеки K_e . Ітераційний процес при цьому збігається, і кількість ітерацій визначається за результатами порівняльної оцінки, проведеної на I етапі.

III етап. На завершальному етапі вирішується завдання, де порівнюються показники економічної ефективності експлуатації ТЗ, пристосованих до альтернативних видів палива.

За критерієм економічної ефективності K_{ek} здійснюється порівняльна оцінка використання альтернативних і базових видів палива. Вибираються ТЗ, пристосовані до альтернативних видів палива, рівень екологічної безпеки яких лежить в межах найбільших значень. Кількість ітерацій залежить від кількості поєднань, що залишилися після реалізації перших двох. Далі з множини альтернативних видів палива формується комплекс альтернативних видів палива на основі вибору оптимальних поєднань видів палива і типів конструкції двигунів та транспортних засобів.

Для визначення критерію адаптованості системи до різних палив розроблена методика на основі методу аналізу ієрархій (МАІ) Т.Сааті. За допомогою МАІ можна вирішувати завдання багатокритеріальної оптимізації з досить великою кількістю критеріїв оптимальності.

Метод аналізу ієрархій, як метод системного аналізу, дозволяє здійснити ієрархічне представлення складових елементів системи (рис. 3). Кожний рівень (етап) або підрівень (підетап) ієрархічної структури має свої оціночні показники (ОП) з енергетичними, екологічними, економічними, функціональними та ін. критеріями, які є складовими елементами системи. Так на рівні 2 розміщені показники оцінки палив та двигунів, а на рівні 3 – об'єкти досліджень.

В основі МАІ лежать принципи: декомпозиції (структурування проблеми в ієрархічну систему більш простих завдань); парних порівнянь (порівняння всіх можливих комбінацій за результатами визначених пріоритетів або вагових коефіцієнтів); ієрархічної композиції (визначення пріоритету кожної групи на кожному рівні ієрархії).

Для досліджуваної проблеми у відповідності з принципом ідентичності та декомпозиції ієрархічне представлення завдання можна ілюструвати поетапно (рис. 3).

Об'єкти досліджень оцінюються попарним порівнянням за допомогою розробленої математичної матричної моделі із застосуванням множини критеріїв, обраних залежно від вирішуваних завдань і мають різні рівні деталізації.



Рисунок 3 – Структура ієрархії підсистем «паливо» і «двигун»

При застосуванні МАІ порівнюється відносна важливість кожного критерію з відносною важливістю будь-якого іншого критерію, який реалізується математичною матричною моделлю (рис. 4). Порівняння проводиться обчисленням власного вектора по рядках, обчисленням та нормалізацією вектора пріоритету.

Матриця парних порівнянь показників					Обчислення власного вектора по рядках	Обчислення і нормалізація вектора пріоритету
	A_1	A_2	A_3	A_4		
A_1	ω_1/ω_1	ω_1/ω_2	ω_1/ω_3	ω_1/ω_4	$\sqrt[4]{\omega_1/\omega_1 \cdot \omega_1/\omega_2 \cdot \omega_1/\omega_3 \cdot \omega_1/\omega_4} = a$	$a/\sum a = x_1$
A_2	ω_2/ω_1	ω_2/ω_2	ω_2/ω_3	ω_2/ω_4	$\sqrt[4]{\omega_2/\omega_1 \cdot \omega_2/\omega_2 \cdot \omega_2/\omega_3 \cdot \omega_2/\omega_4} = b$	$b/\sum a = x_2$
A_3	ω_3/ω_1	ω_3/ω_2	ω_3/ω_3	ω_3/ω_4	$\sqrt[4]{\omega_3/\omega_1 \cdot \omega_3/\omega_2 \cdot \omega_3/\omega_3 \cdot \omega_3/\omega_4} = c$	$c/\sum a = x_3$
A_4	ω_4/ω_1	ω_4/ω_2	ω_4/ω_3	ω_4/ω_4	$\sqrt[4]{\omega_4/\omega_1 \cdot \omega_4/\omega_2 \cdot \omega_4/\omega_3 \cdot \omega_4/\omega_4} = d$	$d/\sum a = x_4$
	$\sum_1$	$\sum_2$	$\sum_3$	$\sum_4$	$\sum a$	$\sum_n \approx 1.0$

Рисунок 4 – Матриця парних порівнянь показників, розрахунок власних векторів, обчислення і нормалізація вектора пріоритету

На рис. 4: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – множина з n критеріїв і $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ – відповідно їх відносні важливості.

Реалізація МАІ починається з другого рівня вниз (рис. 3): складаються матриці парних порівнянь для кожного з рівнів (рис. 4) і т.д. Наступні пріоритети (числові значення відносної важливості) множаться на пріоритет відповідного критерію на вищому рівні і підсумовуються по кожному елементу (альтернативи рішень) відповідно до критеріїв, на які впливає цей елемент. Зазначена процедура триває до самого останнього рівня розробленої ієрархії.

Для оцінки погодженості в МАІ використовуються індекс погодженості (ІП) і відношення погодженості (ВП).

Далі формується матриця парних порівнянь третього рівня, для якої (беручи до уваги її структуру) вибираються нові оціночні показники.

Заключний етап МАІ – розрахунок критерію адаптованості системи до різних палив:

$$K_a = \sum_{i=1}^{i=n} x_i \phi_i, \quad (1)$$

де x_i – вектор пріоритету i – оціночного критерію, отриманого при парному порівнянні відносної важливості критеріїв на другому рівні (рис. 3) по відношенню до загальної мети на першому рівні;

ϕ_i – вектор пріоритету i – об'єкта досліджень, отриманого при парному порівнянні відносної важливості об'єктів дослідження на третьому рівні.

Під час визначення адаптованості системи до АМП попередньо оцінюється технічна пристосованість ДВЗ до АМП за енергетичними та паливо-економічними показниками двигуна під час його роботи на даному альтернативному паливі (ефективна потужність двигуна, ефективний крутний момент та питома ефективна витрата палива), на величину яких впливає нижча теплота згоряння та інші показники палива.

У наших дослідженнях для розрахунку потужності двигуна використано зв'язок між корисною роботою (потужністю) двигуна і кількістю теплоти, витраченою для її одержання, яка оцінюється теплотою згоряння паливоповітряної суміші:

$$Q_e = N_e = H_{cm} \frac{B_{cm}}{3,6 \cdot 10^3} \eta_e, \text{ кВт}, \quad (2)$$

де H_{cm} – теплота згоряння паливоповітряної суміші, МДж/м³;

B_{cm} – годинна витрата паливоповітряної суміші, м³/год;

η_e – ефективний ККД.

Теплота згоряння паливоповітряних сумішей різних палив в залежності від складу суміші:

$$H_{cm} = \frac{H_u - \Delta H_u}{\alpha L_0}, \quad \text{МДж/ м}^3, \quad (3)$$

де H_u – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг (МДж/ м³);

ΔH_u – хімічна неповнота згоряння палива, МДж/кг (МДж/ м³);

α – коефіцієнт надлишку повітря;

L_0 – кількість повітря, теоретично необхідна для повного згоряння 1 кг палива, кг.

Витрата паливоповітряної суміші для ДВЗ конкретної конструкції визначається за формулою:

$$B_{cm} = \left(\frac{V_h \cdot i}{1000} \cdot \frac{60n}{\tau} \right) \frac{T_0 \cdot p_a}{T_a \cdot p_o} \cdot \eta_v \cdot \gamma, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4)$$

де V_h – робочий об'єм циліндрів;

i – кількість циліндрів;

τ – тактність двигуна;

n – частота обертання, хв^{-1} ;

η_v – коефіцієнт наповнення циліндрів;

T_0, T_a, p_0, p_a – відповідно температура і тиск навколишнього середовища і в кінці впуску;

$\gamma = 1,11...1,14$ – коефіцієнт повноти заряду, що враховує запізнення закриття впускного клапана.

Використовуючи формули (2) і (4) і розрахункові значення H_{cm} , отримується вираз для розрахунку потужності чотиритактного двигуна:

$$N_e = A \cdot H_{cm} \cdot V_h \cdot n \cdot \frac{T_0 \cdot p_a}{T_a \cdot p_o} \cdot \eta_v \cdot \eta_e \cdot \gamma, \text{ кВт}, \quad (5)$$

де A – стала для даного двигуна величина.

Потім за питомою ефективною витратою палива визначається питома витрата теплоти, введеної в двигун з паливом:

$$q = g_e H_u, \frac{\text{МДж}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}. \quad (6)$$

За отриманими значеннями потужності двигуна і питомої ефективною витрати палива (теплоти) далі розраховується значення крутного моменту M_k та годинної витрати палива (теплоти) G_n .

В якості міри ефективності паливно-енергетичного поля двигуна, яке об'єднує показники навантажувальних характеристик, в роботі введено комплексний показник, взаємно пов'язуючий енергетичні та паливо-економічні показники двигуна – механічний еквівалент одного МДж палива:

$$ME = \frac{M_e \omega}{G_n}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{МДж}}, \quad (7)$$

де M_e – ефективний крутний момент двигуна, Нм, який розвивається при частоті обертання колінчастого вала ω , с^{-1} та годинній витраті палива в енергетичних одиницях G_n , МДж/год.

Паливно-енергетичне поле відображає міру потенційних можливостей двигуна і умови, за яких можлива максимально вигідна його реалізація внаслідок взаємної погодженості характеристик двигуна та показників палива.

Для зручності порівняння паливно-енергетичних показників двигуна при використанні різних палив розглядається цільова функція:

$$ME_{\max} = f(Me, n). \quad (8)$$

Під час оцінки екологічної безпеки ТЗ враховується кількість викидів шкідливих речовин (ШР) з ВГ, їх токсичність та клас небезпеки. Показник екологічної пристосованості двигуна до альтернативних видів палива:

$$EP = \frac{KHT}{KHT_0}, \quad (9)$$

де KHT – категорія небезпеки ТЗ, що працює на альтернативному паливі, м³/с;
 KHT_0 – категорія небезпеки ТЗ, що працює на базовому паливі, м³/с.

$$KHT = \sum_{i=1}^n KHD_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{ГДК_i} \right)^{\alpha_i}, \quad (10)$$

де KHD_i – категорія небезпеки i -ої речовини, м³/с;

M_i – кількість i -ої шкідливої речовини у ВГ, г/с;

$ГДК_i$ – середньодобова гранично-допустима концентрація i -ої речовини, г/м³;

α_i – безрозмірна константа, що дозволяє порівняти класи небезпеки i -ої речовини і діоксиду сірки (III клас небезпеки);

n – кількість шкідливих речовин у ВГ.

Це пов'язано з тим, що ще в 1999 р. Всесвітня організація охорони здоров'я за базовий показник токсичності прийняла діоксид сірки (раніше використовували оксид вуглецю СО). В табл. 1 наводяться значення відносної агресивності ШР за санітарними нормами.

Таблиця 1 – Відносна агресивність шкідливих речовин

Речовина	Відносна агресивність
Оксид вуглецю	0,09
Діоксид сірки	1,0
Оксиди азоту	2,5
Сажа без домішок	1,6

Кількість i -ої шкідливої речовини у ВГ:

$$M_i = \frac{M_i^L \cdot L}{t} = \frac{M_i^I}{t}, \quad \text{г/с}, \quad (11)$$

де M_i^L – питомий викид i -ї речовини, г/км;

L – довжина їздового циклу, км;

t – тривалість їздового циклу, с;

M_i^I – питомий викид i -ї речовини, г/випробування.

Показник екологічної небезпеки транспортного засобу під час роботи на альтернативному паливі:

$$K_{ен} = EP \cdot K_{енб}, \quad (12)$$

де $K_{енб}$ – показник екологічної небезпеки ТЗ, що працює на базовому виді палива.

$$K_{енб} = \frac{KHT_{б}}{KHT_{норм}}, \quad (13)$$

де $KHT_{норм}$ – категорія небезпеки, розраховане за нормативними параметрами діючих стандартів.

Отримавши значення $K_{ен}$, виконується оцінка відповідних властивостей двигуна, який працює на АМП.

Критерій екологічної безпеки ТЗ:

$$K_e = \frac{1}{K_{ен}}. \quad (14)$$

Оцінка економічної ефективності експлуатації транспортних засобів, переобладнаних для роботи на альтернативних видах палива, включає аналіз додаткових капітальних вкладень і економії поточних витрат у порівнянні з базовою моделлю транспортного засобу.

Капітальні вкладення K в переобладнання ТЗ визначаються за формулою, грн:

$$K = C_0 + C_M + C_{ТВ}, \quad (15)$$

де C_0 – вартість комплексу додаткового обладнання, грн;

C_M – витрати на модернізацію та монтаж обладнання, грн;

$C_{ТВ}$ – транспортні витрати, грн.

Економія (зростання) поточних витрат пов'язана головним чином з економією (зростанням) витрат на паливо у собівартості перевезень, у зв'язку з нижчою (вищою) ціною альтернативних видів палива у порівнянні з нафтовим дизельним паливом. В той же час, вона має бути зменшена (збільшена) на розмір додаткових експлуатаційних витрат, пов'язаних з амортизацією, технічним обслуговуванням і поточним ремонтом додаткового обладнання.

Річна сума економії експлуатаційних витрат $E_{e.в}$ складається з економії на паливі, економії на платі за забруднення атмосферного повітря за вирахуванням додаткової суми експлуатаційних витрат, пов'язаних з амортизацією, технічним

обслуговуванням і поточним ремонтом додаткового устаткування. Термін окупності капітальних вкладень на переобладнання ТЗ визначається за формулою:

$$T = \frac{K}{E_{e.g}}. \quad (16)$$

Найбільш ефективне рішення щодо вибору палива буде відповідати мінімуму річних приведених витрат B_p :

$$B_{p_i} = C_i - i \cdot K_i \rightarrow \min, \quad (17)$$

де C_i – собівартість перевезень з використанням i -го виду палива, грн;

i – постійна норма дисконту.

Економічна ефективність використання АМП оцінюється критерієм економічної ефективності:

$$K_{ek} = \frac{B_{pi}}{B_{p\max}}. \quad (18)$$

Таким чином вибрано три критерії вибору раціонального виду палива для транспортних засобів. Багатокритеріальну задачу зведено до однокритеріальної за методом згортання. Об'єднання окремих критеріїв в загальний критерій раціонального виду палива здійснюється наступним чином:

$$K = \varphi_1 K_a + \varphi_2 K_e + \varphi_3 K_{ek}, \quad (19)$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – коефіцієнти вагомості показників адаптованості системи до АМП, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації технологічних ТЗ на різних паливах ($\sum \varphi_i = 1$).

Для оцінки вагомості окремих критеріїв були використані результати експертних оцінок. Найбільша значимість в критерію екологічної безпеки (0,4), дещо менші значення (0,3) мають критерій адаптованості та критерій економічної ефективності експлуатації. Для прийняття рішення щодо вибору раціонального виду палива сформована цільова функція:

$$F(K) \Rightarrow \max. \quad (20)$$

У третьому розділі розглянуто особливості застосування альтернативних моторних палив в транспортних засобах, зокрема енергетичні властивості цих палив та їх паливоповітряних сумішей. Запропоновано потужність двигунів визначати саме за теплою згоряння паливоповітряних сумішей. Проаналізовано сучасні вимоги до моторних палив. Ранжуванням обґрунтовано вибір моторних палив для

подальших досліджень у дизелі: нафтове дизельне паливо (ДП), біодизельне паливо та природний газ.

Аналіз асортименту відомих біодизельних палив на основі ріпакової олії свідчить про відсутність дешевого, екологічно чистого, неагресивного біопалива із низькотемпературними властивостями, які б покращили роботоздатність транспортних засобів у зимовий період.

На даний час найбільш поширеним біодизельним паливом є ріпаковий метиловий ефір (РМЕ). Однак це паливо виготовляється з використанням високотоксичного та агресивного метанолу, що стримує його використання. Етиловий ефір ріпакової олії, який виготовляється з використанням етилового спирту є досить дорогим. Обґрунтовано доцільність створення нового біопалива на основі ріпакової олії та ізопропілового спирту – ріпакового ізопропілового ефіру (PIE), яке є нетоксичним, неагресивним до матеріалів транспортного засобу та має покращені експлуатаційні властивості.

В результаті проведеного синтезу в лабораторних умовах одержано нове біодизельне паливо з покращеними експлуатаційними властивостями. На основі експериментальних досліджень експлуатаційних властивостей встановлено, що температура застигання створеного палива вдвічі нижча у порівнянні з РМЕ (прийнятий як еталон) і становить - 22 °С. Інші показники експлуатаційних властивостей PIE є не гіршими за показники еталону за винятком в'язкості. Суттєвою перевагою біодизельних палив є відсутність сірки.

Вдосконалена технологія переобладнання дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням дозволила отримати прийнятні показники газового двигуна за помірних витрат на переобладнання. Зменшення ступеня стиску досягалось встановленням додаткових прокладок головки циліндрів. На газовий двигун встановлювались серійні елементи систем живлення та запалювання. Для виконання переобладнання вибрана концепція двигуна, працюючого на стехіометричних сумішах.

Четвертий розділ присвячений математичному моделюванню окремих підсистем системи „паливо-двигун-транспортний засіб”. Загальна схема методу оцінки показників експлуатаційних ТЗ під час руху за ІЦ показана на рис. 5.

Порівняння паливо-економічних та екологічних показників двигунів при роботі на різних паливах проводилось за експериментальними навантажувальними та швидкісними характеристиками, які описувались поліноміальними моделями. Годинні витрати палива, повітря та вміст ШР у ВГ двигунів всіх типів під час роботи в режимі самостійного холостого ходу задовільно описуються поліномами другої степені залежно від частоти обертання холостого ходу n_0 . Під час роботи двигуна з іскровим запалюванням на газовому паливі в навантажувальних режимах показники визначаються в функції від двох змінних: частоти обертання колінчастого вала двигуна n_0 та розрідження у впускному колекторі Δp_k . Показники дизеля в навантажувальних режимах описуються поліномами залежно від n_0 та крутного моменту двигуна M_e . Масові викиди шкідливих речовин визначались за витратами палива та повітря та концентраціями цих речовин у ВГ.

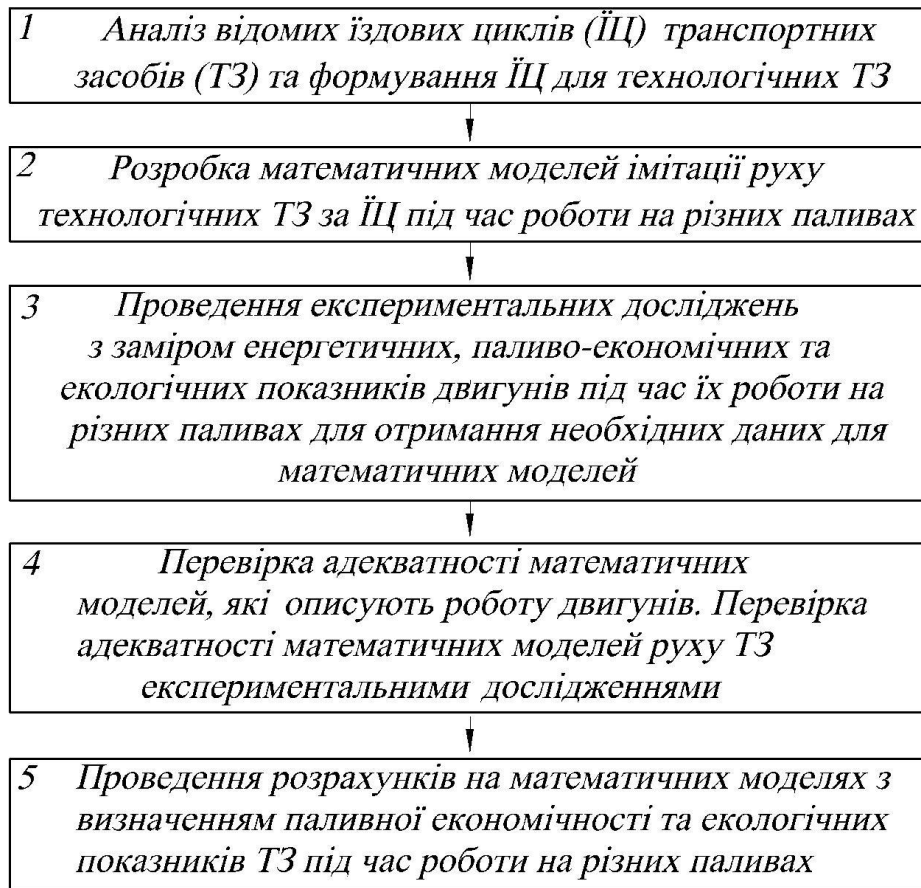


Рисунок 5 – Загальна схема методу оцінки паливо-економічних та екологічних показників ТЗ під час руху за ЇЦ

Наприклад, показники дизеля під час роботи на біодизельному паливі та його сумішах з нафтовим паливом (витрата повітря $G_{нов}$, витрата палива G_n , концентрації шкідливих речовин у ВГ: оксиду вуглецю CO , вуглеводнів C_mH_n , оксидів азоту NO_x та димність D) описуються поліномами третього порядку:

$$\begin{aligned}
 G_n, G_{нов}, CO, C_mH_n, NO_x, D = & A_0 - A_1 n_d M_e^2 - A_2 C_{бдн} M_e^2 - A_3 M_e^3 + A_4 M_e^2 - \\
 & - A_5 n_d C_{бдн} M_e + A_6 C_{бдн}^2 - A_7 C_{бдн} M_e + A_8 M_e - A_9 n_d M_e + A_{10} n_d^2 M_e + A_{11} n_d C_{бдн}^2 + \\
 & + A_{12} C_{бдн}^3 + A_{13} C_{бдн}^2 - A_{14} C_{бдн} - A_{15} n_d C_{бдн} + A_{16} n_d^2 C_{бдн} - A_{17} n_d + A_{18} n_d^2 - A_{19} n_d^3,
 \end{aligned} \quad (21)$$

де $C_{бдн}$ – вміст біодизельного палива в сумішах з нафтовим паливом.

Виконана перевірка адекватності поліноміальних моделей, які описують двигуни, за критерієм Фішера.

Уточнені математичні моделі руху технологічних транспортних засобів шляхом врахування роботи технологічного засобу з причепом та конструктивних особливостей двигуна та трансмісії. Математичні моделі руху транспортних засобів за їзовим циклом це системи диференційних та алгебраїчних рівнянь, які описують режими руху транспортних засобів та відповідні їм режими роботи двигунів. Вхідними параметрами в математичних моделях є споряджена маса транспортного

засобу, величина та швидкість переміщення органів керування паливоподачею, обрана передача, час переключення передач, швидкість руху, втрати в трансмісії, дорожні умови, завантаження транспортного засобу. Вихідними параметрами є витрата палива, витрата повітря та викиди ШР з ВГ двигунів ТЗ.

Основною величиною для розрахунку всіх режимів прийнято значення ефективного крутного моменту двигунів, який розраховується поліноміальною залежністю другого ступеня від частоти обертання колінчастого вала і положення важеля керування паливоподачею (в дизелях) або розрідження у впускному колекторі (в двигунах з іскровим запалюванням). Під час руху ТЗ сила тяги на ведучих колесах витрачається на подолання сил опору рухові, які створює дорога, а також сил опору прискореному рухові. Сила опору повітря внаслідок малих швидкостей руху ТЗ не враховується. Рівняння перетворення обертального руху коліс у поступальний рух ТЗ має вигляд:

$$\frac{1}{r_o} \cdot M_e \cdot U_{mp} \cdot \eta_{mp} = G_{mз} \cdot \psi \pm M_{mз} \cdot \delta \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (22)$$

де r_o – динамічний радіус ведучих коліс;

M_e – ефективний крутний момент двигуна;

U_{mp} – передатне число трансмісії;

η_{mp} – ККД трансмісії;

$G_{mз}, M_{mз}$ – вага і маса транспортного засобу відповідно;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору;

δ – коефіцієнт врахування оберткових мас.

Процеси розгону ТЗ з блокованим зчепленням, сповільнення з від'єднанням та приєднанням двигуном описуються диференціальними рівняннями, які розв'язуються за методом Рунге – Кутта. Шляхом розв'язання систем диференціальних рівнянь, які описують режим роботи транспортного засобу, на кожній ділянці ІЦ визначаються середні значення параметрів, які визначають режим роботи двигунів.

Математичні моделі дозволяють розрахувати питому витрату палива та питомі масові викиди ШР ТЗ за концентраціями цих речовин та витратами різних видів палива і повітря.

Зазвичай моделювання руху транспортних засобів виконується за режимами стандартних їздових циклів, які імітують рух транспортних засобів. Оскільки стандартні їздові цикли для технологічного транспорту відсутні, то для оцінки показників такої техніки сформований їздовий цикл (рис. 6), який включає основні режими її руху. Їздовий цикл складається з двох частин: перша частина – розгін, рух з порівняно високою швидкістю та сповільнення характерний для доставки вантажу на виробництво, друга частина – рух з малою швидкістю та частими зупинками характерний для розвезення вантажу.

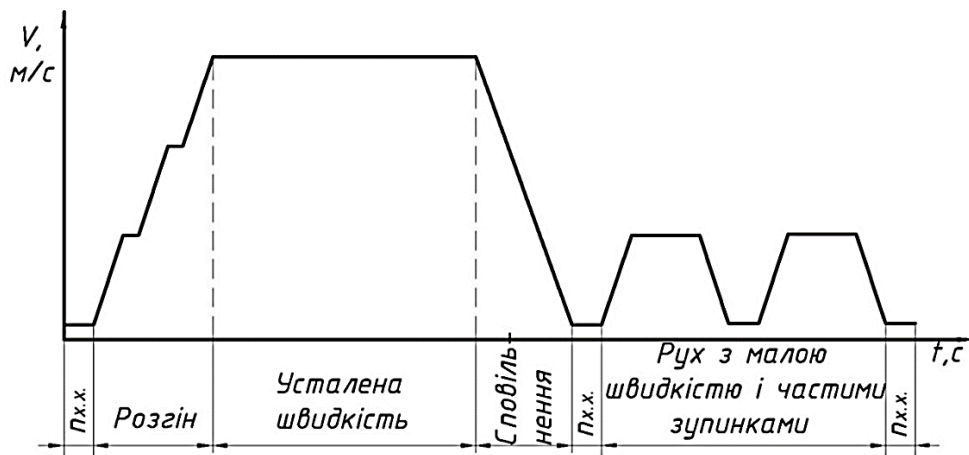


Рисунок 6 – Їздовий цикл засобів технологічного транспорту

Перевірка адекватності математичної моделі системи «паливо-двигун-транспортний засіб» в цілому виконана за комплексним паливо-екологічним критерієм, запропонованим проф. Парсадановим І.В. (табл. 2 і 3). Деякі відмінності у результатах проф. Парсаданова І.В. та отриманих у даній роботі (16,3 % для ПГ та 15,4 % для біодизельних палив) можна пояснити тим, що ці результати отримані для іншої марки трактора, а також тим, що природний газ застосовувався у газодизелі та використовувалось інше біодизельне паливо.

Таблиця 2 – Відносна зміна комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ дизеля Д-243 трактора МТЗ-80 при застосуванні альтернативних палив

Паливо	Відносна зміна комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ
Дизельне паливо	1,0
Природний газ в ГДІЗ	1,057
Біодизель (PIE)	1,030

Таблиця 3 – Відносна зміна комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ дизеля СМД-31 трактора Т-150К при застосуванні альтернативних палив (за даними проф. Парсаданова І.В.)

Паливо	Відносна зміна комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ
Дизельне паливо	1,0
Природний газ у газодизелі	1,049
Ріпаковий метиловий ефір	1,026

В п'ятому розділі викладено мету, програму, методику та результати експериментальних досліджень.

Метою експериментальних досліджень є визначення дослідних даних для побудови та перевірки адекватності математичних моделей окремих підсистем під час роботи технологічних транспортних засобів на альтернативних паливах.

Для виконання поставленої мети програма експериментальних досліджень включала комплекс досліджень експлуатаційних властивостей нового біодизельного палива (PIE), безмоторні дослідження паливного насоса 4УТНМ, під час яких визначались характеристики паливоподачі паливного насоса при використанні нового біопалива, стендові дослідження двигунів і дорожні випробування колісного трактора при роботі на різних паливах.

Аналіз експлуатаційних властивостей біодизельних палив свідчить про те, що PIE має нижчу температуру застигання, ніж метиловий ефір ріпакової олії, має низьку токсичність та агресивність, чим є подібним до етилового ефіру ріпакової олії, але значно дешевший за нього.

Об'єктами стендових моторних досліджень був дизель Д-243 та створений на його базі газовий двигун з іскровим запалюванням. Визначалась витрата палива та повітря, концентрації ШР у ВГ за навантажувальними та швидкісними характеристиками під час роботи двигунів на різних паливах. Проведені експериментальні дослідження дизеля Д-243 та колісного трактора МТЗ-80 на новому біопаливі підтвердили можливість його використання. Потужність N_e дизеля при роботі на новому біопаливі незначно (до 5 %) нижча у порівнянні з дизелем під час роботи на нафтовому ДП (рис. 7). У випадку роботи дизеля на PIE має місце збільшення питомої витрати g_e палива в межах 4...6 % та збільшення концентрації оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах (ВГ) через більший вміст кисню в біопаливі та підвищення температури робочого тіла в циліндрах дизеля. Димність D є до 35 % меншою під час роботи на біопаливі, особливо при навантаженнях близьких до максимальних. Відхилення величин решти порівнюваних показників (вміст оксиду вуглецю CO та вуглеводнів CH у ВГ) знаходиться в межах можливої точності їх вимірювання.

Експериментальні дослідження дизеля Д-243 при його роботі на сумішах біодизельного палива (БДП) з нафтовим ДП (25 % БДП і 50 % БДП) показали, що ефективні показники дизеля та викиди шкідливих речовин знаходяться в полі показників між ДП та чистим БДП пропорційно вмісту БДП.

Експериментально підтверджено роботоздатність у всьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів переобладнаного дизеля Д-243 для роботи на природному газі шляхом зниження ступеня стискання з 16 до 12 та оснащення газовою системою живлення і системою запалювання. Його ефективна потужність близька до потужності базового дизеля, еквівалентна питома ефективна витрата палива до 25 % більша, ніж у дизеля. Викиди окремих шкідливих речовин на деяких режимах роботи газового двигуна є більшими, ніж у дизеля, але сумарна токсичність ВГ, приведена до оксиду вуглецю, газового двигуна є у 1,96 раза меншою у порівнянні з дизелем. У ВГ газового двигуна повністю відсутній вміст сажі.

Стендові випробування двигунів проводилися на гальмівному стенді з застосуванням приладів для визначення витрати палива і повітря та газоаналізаторів для визначення концентрацій окремих ШР ВГ. Об'єктами дорожніх випробувань були колісний трактор МТЗ-80 та трактор МТЗ-80 з переобладнанням з дизеля газовим двигуном, які використовуються в якості технологічного транспорту.

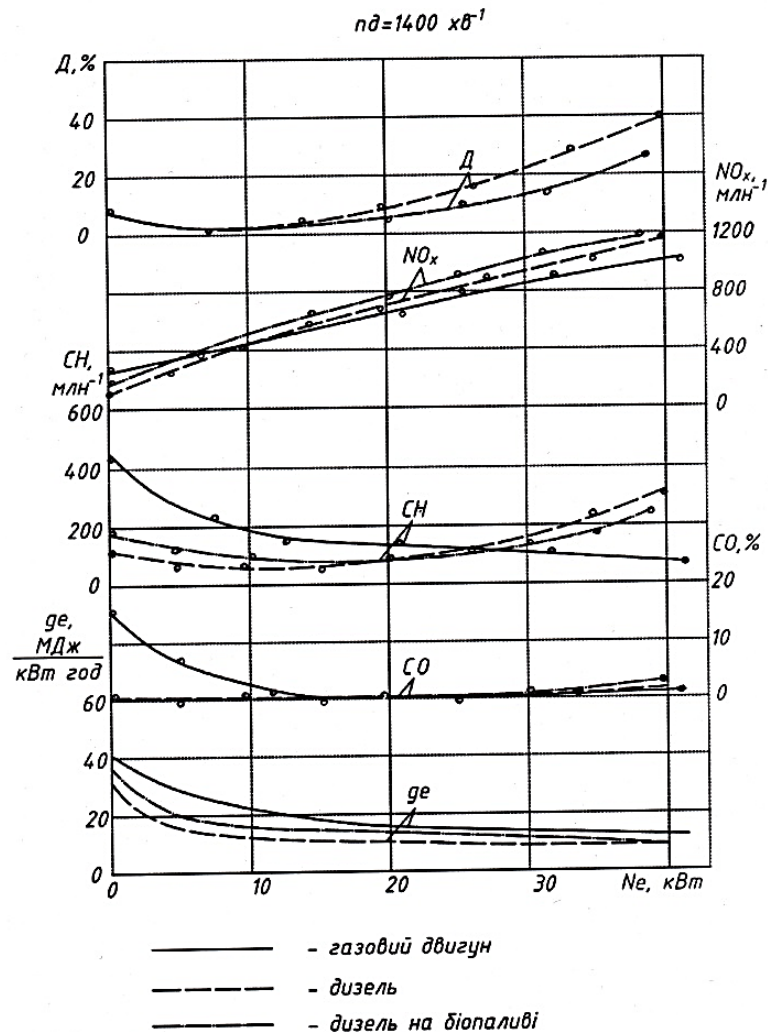


Рисунок 7 – Навантажувальні характеристики з заміром токсичності ВГ двигуна Д-243 під час роботи на різних паливах

Дорожні випробування колісного трактора з газовим двигуном, використовуваного в якості технологічного транспорту, при транспортуванні причепа масою 4000 кг підтвердили його роботоздатність. Під час руху трактора за прийнятим їздовим циклом зафіксовано на ноутбук значення швидкості трактора, кута відкриття дросельних заслінок, розрідження у впускному колекторі та частоти обертання колінчастого вала, які використані для перевірки адекватності математичної моделі руху колісного трактора.

Проведені дорожні випробування трактора МТЗ-80 з причепом при використанні біодизельного палива. На стрічку осцилографа записано зміну переміщення важеля керування регулятором, положення рейки паливного насоса та швидкість трактора при його русі за їздовим циклом.

Перевірка адекватності поліноміальних моделей, які описують двигуни, проводилась за критерієм Фішера. Адекватність математичних моделей руху трактора за їздовим циклом перевірялась порівнянням розрахункових швидкостей та витрат палива з даними експериментальних досліджень, отриманих при виконанні їздового циклу в дорожніх умовах. Зокрема, на рис. 8 показано як змінюється

швидкість руху V колісного трактора під час роботи на газі та положення дросельних заслінок Φ_p газоповітряного змішувача в першій частині прийнятого їздового циклу залежно від часу руху. Показники, отримані експериментом та розрахунком відрізняються до 6 %. Аналогічним чином виконана перевірка адекватності математичної моделі руху трактора з дизелем під час руху за їздовим циклом.

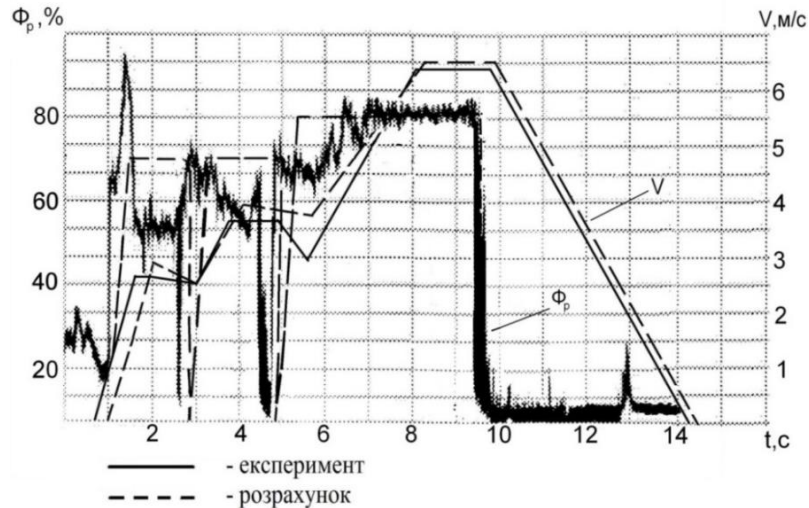


Рисунок 8 – Діаграми зміни швидкості колісного трактора МТЗ-80 та положення дросельних заслінок газоповітряного змішувача у процесі роботи на газі за часом виконання їздового циклу

Перевірка адекватності математичних моделей підсистем системи „паливо-двигун-транспортний засіб” порівнянням з результатами експериментальних досліджень показала, що математичні моделі задовільно описують основні процеси системи і можуть бути використані для оцінки доцільності використання АМП в ТЗ.

В шостому розділі наведені результати досліджень на математичних моделях щодо вибору раціонального АМП для технологічних ТЗ.

Для розрахунку енергетичних та паливо-економічних показників двигунів за розробленою в роботі методикою отримано величини змін теплоти згоряння паливо-повітряних сумішей різних палив залежно від їх складу. Потім за залежностями, наведеними в другому розділі, визначені ефективна потужність двигуна на номінальному режимі, питома витрата теплоти на одиницю ефективної потужності та механічний еквівалент ME одного МДж енергії палива (табл. 4).

Таблиця 4 – Енергетичні та паливо-економічні показники двигуна трактора МТЗ-80 при роботі на різних паливах

Паливо	N_e , кВт	g_e , МДж/кВт год	ME_{max} , Вт*год/МДж
Нафтове ДП	56	8	20
БДП	54	9	19
ПГ	57,2	10,2	20

За допомогою уточнених математичних моделей були розраховані питомі шляхові викиди шкідливих речовин (сажі C , оксидів азоту NO_x , вуглеводнів CH і оксиду вуглецю CO) та витрату палива трактором МТЗ-80 при його русі за їздовим

циклом. Розрахунок був проведений для трьох видів палива: нафтове дизельне паливо (ДП), природний газ (ПГ) та біодизельне паливо на основі ізопропілового ефіру ріпакової олії (PIE). При цьому враховувалась маса транспортованого вантажу M_e . За цими даними були побудовані графічні залежності (рис. 9).

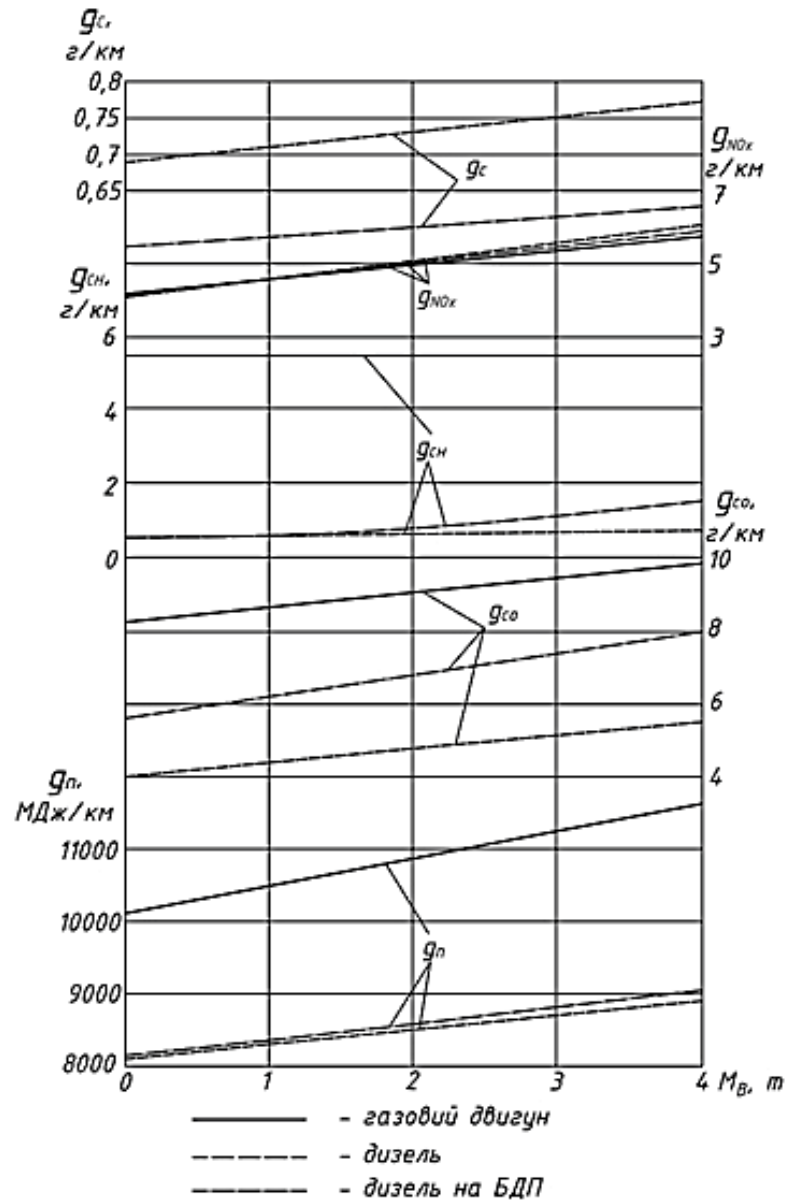


Рисунок 9 – Залежності витрати палива та викидів ШР від маси вантажу колісного трактора МТЗ-80 під час роботи двигуна на різних палива

Оціночні показники нафтового ДП та альтернативних моторних палив, які застосовуються в дизелях, наведені в табл. 5.

Оціночними показниками другого рівня (рис. 3) є показники палив та двигунів (табл. 5), які наведені в таблиці 6: А1 – достатність ресурсів та можливість масового виробництва; А2 – енергетичні показники двигуна; А3 – детонаційна стійкість та схильність до самозаймання; А4 – енерговитрати виробництва; А5 – екологічні якості палив (вплив на навколишнє середовище); А6 – паливна економічність

двигуна; А7 – безпечність застосування. Виконано парне порівняння оціночних показників третього рівня (рис. 3).

Таблиця 5 – Оціночні показники моторних палив

Показник	Паливо		
	ДП	БДП	ПГ
Достатність ресурсів та можливість масового виробництва	-	+/-	-
Нижча теплота згоряння МДж/кг (МДж/м ³)	42,5	38,3	38
Детонаційна стійкість (октанове число) або схильність до самозаймання (цетанове число)	45	49	100-125
Ціна, грн/л (грн/м ³) за даними поч. 2015 р.	16,5	15,5	8
Екологічні якості (вплив на навколишнє середовище)	-	+	+/-
Енерговитрати виробництва	-	+	+
Безпечність застосування	+/-	+	+/-
Прим. «+» – наявність переваг у порівнянні із дизельним нафтовим паливом; «-» – відсутність переваг у порівнянні із дизельним нафтовим паливом; «+/-» – поєднання переваг та недоліків.			

Виконана оцінка адаптованості системи до альтернативних палив за методикою, розробленою на основі методу аналізу ієрархій (МАІ). На першому етапі з використанням даних табл. 5 виконано парне порівняння оціночних показників 2-го рівня (рис. 3): достатність ресурсів, нижча теплота згоряння, енерговитрати виробництва і т.д. (табл. 6).

Таблиця 6 – Парне порівняння оціночних показників другого рівня

Критерії оцінки	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Вектор пріоритету (x_i)
A1	1	1/5	6	4	1/7	1/6	1/6	0.14
A2	5	1	1/3	6	1/2	1/4	1/5	0.14
A3	1/6	3	1	3	5	1/4	1/3	0.14
A4	1/4	1/6	1/3	1	1/6	1/3	1/4	0.11
A5	7	2	5	6	1	5	1/2	0.16
A6	6	4	4	3	1/5	1	1/5	0.15
A7	6	5	3	4	2	5	1	0.16
Σx_i	25,42	15,37	19,66	27	9,01	12	2,65	$\Sigma_{\pi} \approx 1.0$

Результати розрахунків критерію адаптованості системи з дизелем до різних палив за парними порівняннями показників другого і третього рівня (рис. 3) під час використання в колісному тракторі наводиться в табл. 7.

Найбільше значення критерію адаптованості має нафтове дизельне паливо (0,36). Критерій адаптованості природного газу 0,34, а біодизеля 0,29.

Оскільки в якості технологічного транспорту використовуються також вантажні автомобілі з бензиновими двигунами, за тією ж самою методикою визначено критерій адаптованості системи з бензиновим двигуном до бензину А-80, зрідженого нафтового газу (ЗНГ) та природного газу (ПГ) у випадку їх використання в автомобілі ГАЗ-3307 (табл. 8).

Таблиця 7 – Значення критерію адаптованості системи з двигуном Д-243 до різних палив під час їх використання в тракторі МТЗ-80

Номери критеріїв	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Критерій адаптованості
Вектори пріоритетів $\Sigma(x_i)$	0,14	0,14	0,14	0,11	0,16	0,15	0,16	
Біодизельне паливо	0,26	0,4	0,24	0,27	0,25	0,27	0,36	0,29
Природний газ	0,43	0,34	0,34	0,27	0,32	0,33	0,36	0,34
Дизельне паливо	0,31	0,25	0,42	0,46	0,43	0,38	0,28	0,36
							$\Sigma=$	1,00

Таблиця 8 – Значення критерію адаптованості системи з бензиновим двигуном до різних палив при їх використанні в автомобілі ГАЗ-3307

Номери критеріїв	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Критерій адаптованості
Вектори пріоритетів $\Sigma(x_i)$	0,14	0,14	0,14	0,11	0,16	0,15	0,16	
ЗНГ	0,488	0,199	0,292	0,157	0,418	0,199	0,385	0,294
Природний газ	0,312	0,312	0,292	0,294	0,378	0,312	0,385	0,339
Бензин А-80	0,199	0,488	0,414	0,547	0,202	0,488	0,228	0,367
							$\Sigma=$	1,00

Оціночні критерії є такими ж, як для дизельних палив. Найбільше значення має критерій адаптованості системи до бензину (0,367), дещо менше значення у природного газу (0,339) і найменше значення у ЗНГ (0,294).

Результати досліджень трактора на токсичність ВГ показані в табл. 9. Трактор на традиційному паливі та альтернативних паливах випробуваний за одним і тим же випробувальним циклом. Кількості викидів ШР взяті з рис. 9 для випадку транспортування трактором вантажу 4 т, оскільки в цьому випадку викиди є найбільшими. Відпрацьовані гази трактора, працюючого на природному газі, містять в 1,03 рази менше оксидів азоту NO_x , в 1,75 рази більше оксиду вуглецю CO , в 9,3 рази більше вуглеводнів CH_4 , зовсім не містять сажі у порівнянні з відпрацьованими газами трактора, працюючого на дизельному паливі. Перехід з дизельного палива на біодизель дає менше зниження викидів шкідливих речовин.

За сумарним показником кількості шкідливих викидів (табл. 9) трактора МТЗ-80 лідирує природний газ. Друге місце займає нафтове дизельне паливо. Третє місце визначено за біодизелем.

Аналіз отриманих даних показав, що шкідливі речовини відпрацьованих газів трактора МТЗ-80 в середньому на 46 % складаються з CO, на 36 % складаються з NO_x, та на 39 % з вуглеводнів. Тобто за кількістю шкідливих викидів найбільш значимим компонентом є оксид вуглецю CO.

Таблиця 9 – Викиди ШР (г/км і г/с) колісним трактором МТЗ-80 під час роботи на різних видах палив

Вид палива	Кількість викидів шкідливих речовин Мі колісним трактором									
	NO _x		CO		CH		сажа		Всього	
	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с
Дизельне паливо	6,1	0,038	5,6	0,035	0,6	0,003	0,77	0,0048	13,0	0,081
Природний газ	5,9	0,036	9,8	0,064	5,6	0,036	-	-	21,3	0,136
Біодизель	5,8	0,037	8,0	0,051	1,3	0,008	0,62	0,0039	15,7	0,1

Але за кількістю шкідливих викидів неможливо оцінити загальну екологічну небезпеку транспортного засобу. Результати комплексної оцінки екологічної небезпеки ВГ трактора МТЗ-80 на основі категорії небезпеки КНТ за кількістю, гранично допустимими концентраціями та класом небезпеки ШР наведено в табл. 10.

Таблиця 10 – Категорія небезпеки ВГ колісного трактора МТЗ-80 під час роботи його двигуна на різних паливах

Вид палива	Категорія небезпеки шкідливих речовин ВГ								Категорія небезпеки трактора (КНТ)
	NO _x		CO		CH		сажа		
	м³/с	%	м³/с	%	м³/с	%	м³/с	%	
Дизельне паливо	2789,1	87,8	9,1	0,29	1,9	0,06	377,5	11,9	3177,6
Природн. газ	2599,8	98,7	15,1	0,57	17,4	0,66	-	-	2632,9
Біодизель	2694,1	89,8	12,8	0,42	4,5	0,15	288,2	9,6	2999,6

Для визначення КНТ викиди ШР перераховані з г/км в г/с за виразом (11). Категорія небезпеки трактора, працюючого на біодизелі в 1,11 рази менша, а на природному газі в 1,26 рази менша, ніж на дизельному паливі. Причому екологічна безпека відпрацьованих газів для всіх видів палива в середньому на 90 %

визначається небезпекою оксидів азоту NO_x , вміст яких у ВГ за масою не дуже значний.

Наступним етапом було визначення рівня екологічної безпеки трактора МТЗ-80 під час роботи на різних паливах за критерієм K_e (табл. 11).

Таблиця 11 – Рівень екологічної безпеки трактора МТЗ-80 під час роботи на різних паливах

Вид палива	Показник екологічної небезпеки $K_{ен}$	Критерій екологічної безпеки K_e
Дизельне паливо	2,98	0,33
Природний газ	2,38	0,42
Біодизель	2,70	0,37

За розробленою методикою виконана також оцінка екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307 при роботі на різних паливах. Найвище значення критерію екологічної безпеки у природного газу. Результати оцінки рівня екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307 під час роботи на різних паливах зведені в таблицю 12.

Таблиця 12 – Рівень екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307 при роботі на різних паливах

Вид палива	Показник екологічної небезпеки $K_{ен}$	Критерій екологічної безпеки K_e
Бензин А-80 (не етилований)	3,69	0,27
Природний газ	2,46	0,41
ЗНГ	3,23	0,31

Як видно з табл. 12, критерій екологічної безпеки природного газу має значно більше значення у порівнянні з неетилованим бензином А-80 та ЗНГ, що обумовлено його елементарним складом.

Нафтове дизельне паливо, природний газ та біодизельне паливо мають різну ціну, що визначає різну собівартість перевезень. Крім того, різна вартість переобладнання трактора для роботи на цих паливах визначає різний рівень капітальних вкладень в переобладнання. Експлуатація трактора МТЗ-80 в якості технологічного транспортного засобу з середнім добовим пробігом 40 км на газовому паливі в порівнянні з дизельним паливом забезпечує річний економічний ефект 6078,3 грн (табл. 13) за рахунок меншої вартості газового палива, а термін окупності витрат на переобладнання для роботи на газі складає 1,41 року. При експлуатації на біодизельному паливі річний економічний ефект складе 177,3 грн, а термін окупності витрат на переобладнання 4,9 року.

За розробленою методикою виконана оцінка економічної ефективності автомобіля ГАЗ-3307 під час його роботи на різних паливах. Найбільший економічний ефект має місце при використанні ЗНГ. Це пояснюється меншою ціною ЗНГ та меншою вартістю газової апаратури. Зріджений нафтовий газ (ЗНГ) являє

собою продукт переробки нафти або є супутнім компонентом видобутку СПГ. Ресурси ЗНГ обмежені, оскільки вони значною мірою пов'язані з видобутком нафти. У соціально-побутовому секторі країни ЗНГ використовує значна кількість жителів. Крім того, ЗНГ являє собою цінну сировину для хімічної промисловості. Тому ЗНГ на автотранспорті слід використовувати тільки для власників індивідуальних автомобілів для поліпшення екологічної ситуації великих міст і промислових центрів. Переобладнання вантажних автомобілів з бензиновими двигунами для роботи на природному газі супроводжується зниженням продуктивності транспортних засобів.

Таблиця 13 – Економічна ефективність експлуатації трактора МТЗ-80 на альтернативних паливах

№ з/п	Показник	Одиниця вимірюв.	Вид палива	
			Природн.газ	Біодизель
1.	Економія експлуатаційних витрат	грн.	7712,1	662,3
2.	Термін окупності	роки	1,41	4,9
3.	Річний економічний ефект від використання альтернативних палив	грн.	6078,3	177,3
4.	Критерій економічної ефективності	-	0,71	0,2

За методом згортання визначено загальний критерій вибору раціонального виду моторного палива для використовуваного в якості технологічного транспортного засобу трактора МТЗ-80, тобто багатокритеріальну задачу зведено до однокритеріальної. В результаті досліджень встановлено, що найвище значення (0,484) загального критерію вибору раціонального виду палива має природний газ у випадку його використання в переобладнаному з дизеля Д-243 газовому двигуні, найменше значення (0,240) в нафтового дизельного палива, в біодизельного палива - 0,295. Результати розрахунків загального критерію вибору раціонального виду палива для використовуваного в якості технологічного транспорту трактора МТЗ-80 зведені в табл. 14.

Таблиця 14 – Значення загального критерію вибору раціонального виду палива для трактора МТЗ-80

Паливо	Загальний критерій К вибору раціонального виду палива
Дизельне паливо	0,240
Природний газ	0,484
Біодизель	0,295

Результати розрахунків загального критерію вибору раціонального виду палива для використовуваного в якості технологічного транспорту автомобіля ГАЗ-3307 наведені в табл. 15.

У результаті досліджень встановлено, що найвище значення загального критерію вибору раціонального виду палива має природний газ, найменше значення в бензині.

Таблиця 15 – Значення загального критерію вибору раціонального виду палива для автомобіля ГАЗ-3307

Паливо	Загальний критерій К вибору раціонального виду палива
Бензин А-80	0,218
Природний газ	0,399
Зріджений нафтовий газ	0,377

На основі запропонованої в роботі методології оцінки показників ТЗ під час роботи на АМП розроблена методика створення цільової комплексної програми переходу автотракторної техніки на альтернативні палива, де у восьми розділах послідовно розписаний план дій для досягнення поставленої мети: 1 – визначення номенклатури АМП; 2 – розробка структури парку техніки і визначення обсягів можливого заміщення рідких нафтових палив АМП; 3 – створення системи забезпечення ТЗ АМП (стаціонарні, пересувні, гаражні станції, заводи з виробництва біопалив); 4 – реконструкція виробничо-технічної бази підприємств для забезпечення експлуатації техніки на АМП; 5 – підготовка кадрів для проектування, експлуатації і технічного обслуговування техніки; 6 – нормативно-технічне забезпечення програми переобладнання техніки на АМП; 7 – науково-методичне та інформаційне забезпечення програми використання АМП; 8 – організація оперативного управління комплексною програмою. Більшість розділів методики містять рекомендації щодо ефективного використання АМП.

ВИСНОВКИ

У сучасних умовах і в перспективі основним змістом програмних дій багатьох держав є вирішення проблем раціонального використання паливних ресурсів та охорони навколишнього середовища. Найбільш прийнятним вирішенням вказаних проблем є використання альтернативних моторних палив (АМП) у сфері експлуатації транспортних засобів. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Сучасний стан використання моторних палив та охорони навколишнього середовища характеризується розмаїттям АМП, для яких відсутній єдиний підхід до оцінки енергетичної, екологічної та економічної доцільності їх використання в транспортних засобах.

В роботі вперше з врахуванням системних позицій розроблена загальна методологія оцінювання показників функціонування технологічних транспортних засобів (ТЗ) на АМП з врахуванням умов експлуатації, в рамках якої:

- розроблено модель функціонування системи „паливо-двигун-транспортний засіб” з використанням системних об’єктів, які мають місце в експлуатаційних умовах, що дозволяє оцінювати вплив виду використовуваного палива на показники технологічних ТЗ одночасно за критеріями адаптованості системи до АМП, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації;

- розроблено метод оцінки та прогнозування енергетичних та паливо-економічних показників двигуна у разі використання альтернативних палив, при використанні якого потужність двигуна визначається за кількістю та теплотою згоряння паливоповітряних сумішей;

- розроблена методика оцінки адаптованості системи до АМП на основі методу аналізу ієрархій;

- удосконалено метод оцінки екологічної безпеки засобів технологічного транспорту за кількістю, гранично допустимими концентраціями та класом небезпеки шкідливих речовин, які викидаються з відпрацьованими газами;

2. Розроблені математичні моделі підсистем системи „паливо-двигун-транспортний засіб”, в основі яких лежать рівняння основних процесів системи, моделі зворотних зв’язків та зв’язків з середовищем, які мають місце в реальних експлуатаційних умовах. Сформовано їздовий цикл для технологічних транспортних засобів. Перевірка адекватності математичної моделі «паливо-двигун-транспортний засіб» в цілому виконана за комплексним паливо-екологічним критерієм проф. Парсаданова І.В. Деякі відмінності у результатах проф. Парсаданова І.В. та отриманих в даній роботі (16,3 % для природного газу та 15,4 % для біодизельних палив) можна пояснити тим, що ці результати отримані для іншої марки трактора, а також тим, що природний газ застосовувався у газодизелі та використовувалось інше біодизельне паливо.

3. Експериментальні дослідження дизеля Д-243 під час роботи на новому біопаливі показали збільшення питомої витрати палива в межах 4...6 % при зменшенні потужності дизеля до 5 %. Має місце зменшення викидів сажі до 35% та деяке збільшення викидів оксидів азоту. Переобладнаний з дизеля Д-243 газовий двигун роботоздатний, його потужність близька до потужності базового дизеля, еквівалентна питома витрата палива до 25 % більша, ніж у базового дизеля. Сумарна токсичність відпрацьованих газів газового двигуна, приведена до оксиду вуглецю, є в 1,96 рази меншою. Дорожні випробування трактора МТЗ-80 під час роботи його двигуна на різних АМП підтвердили можливість їх застосування. Перевірка адекватності математичних моделей окремих підсистем системи „паливо-двигун-транспортний засіб” шляхом порівняння розрахункових даних з результатами експериментальних досліджень показала, що математичні моделі задовільно описують основні процеси системи і можуть бути використані для оцінки перспективності використання АМП в ТЗ. Зокрема, показники колісного трактора з газовим двигуном за цикл, отримані в експерименті та на моделі, відрізняються за часом руху t , швидкістю руху V_{mp} , шляхом S та витратою палива до 6 %.

4. Виконана комплексна оцінка перспективності переведення ТЗ на АМП з врахуванням адаптованості, екологічної та економічної ефективності експлуатації. З використанням методики, розробленої на основі методу аналізу ієрархій, та

розробленої математичної матричної моделі вперше виконана комплексна оцінка адаптованості системи до АМП. При використанні АМП в колісному тракторі МТЗ-80 найвище значення критерію адаптованості до дизельного палива (0,36). Критерій адаптованості до природного газу 0,34, а до біодизеля - 0,29. При використанні в вантажному автомобілі ГАЗ-3307 найбільше значення критерію адаптованості має бензин (0,367), найменше значення в ЗНГ – 0,294.

5. За розробленим в роботі методом вперше виконано оцінку екологічної безпеки ТЗ під час роботи на АМП. Найбільше значення критерію екологічної безпеки (0,42) властиве трактору МТЗ-80, працюючому на природному газі. Це, в першу чергу, зумовлено відсутністю сажі у ВГ, дещо менше значення цього критерію (0,37) в трактора, працюючого на біодизельному паливі, що зумовлено його елементарним складом (більша кількість кисню в біопаливі сприяє більш повному його згорянню). В якості вихідних даних використані результати розрахунків питомих викидів ШР на розробленій математичній моделі руху транспортних засобів за їздовим циклом під час їх роботи на різних паливах. Екологічна небезпека відпрацьованих газів для всіх видів палива в середньому на 90% визначається небезпекою оксидів азоту NO_x , вміст яких за масою не дуже значний. Критерій екологічної безпеки автомобіля ГАЗ-3307, працюючого на зрідженому нафтовому газі, є в 1,1 рази більшим, а на природному газі в 1,5 рази більшим, ніж на бензині.

6. Експлуатація трактора МТЗ-80 в якості технологічного транспортного засобу на газовому паливі в порівнянні з дизельним паливом забезпечить річний економічний ефект 6,078 тис. грн, а термін окупності витрат на переобладнання для роботи на газі складе 1,41 року. При експлуатації на біодизельному паливі річний економічний ефект складе 0,177 тис. грн, а термін окупності витрат на переобладнання 4,9 року. Також має місце економічний ефект при використанні газових палив (природний газ та ЗНГ) в автомобілі ГАЗ-3307. Більшим є значення економічного ефекту від використання ЗНГ.

7. В результаті досліджень встановлено, що найбільше значення загального критерію вибору раціонального виду палива має природний газ (0,484) у випадку його використання в переобладнаному з дизеля газовому двигуні колісного трактора МТЗ-80, найменше значення в нафтового дизельного палива (0,24). Найбільше значення загального критерію вибору палива для використовуваного в якості технологічного транспорту автомобіля ГАЗ-3307 в природного газу, дещо меншим є значення загального критерію для ЗНГ.

Розроблена методика створення цільової комплексної програми переведення ТЗ на альтернативні палива, де у восьми розділах послідовно розписаний план дій для досягнення поставленої мети.

8. Результати дисертаційної роботи прийняті до використання в Департаменті науково-освітнього забезпечення та розвитку підприємництва на селі Міністерства аграрної політики та продовольства України, Луцькій райдержадміністрації, Володимир-Волинському агротехнічному коледжі, аграрному підприємстві «Городище» Луцького району Волинської області.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**Монографії**

1. Захарчук В.І. Використання альтернативних моторних палив у засобах технологічного транспорту. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015 – 233 с.

Статті в наукових фахових виданнях

2. 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. – 2003. – №13. – С. 125–129.

3. Захарчук В.І. Техніко-економічні аспекти конвертації дизелів у газові двигуни / В.І. Захарчук, О.П. Сітовський, І.С. Козачук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2004. – №7 (77). – С. 114–117.

4. Захарчук В.І. Розрахунково-експериментальні дослідження газового двигуна, переобладнаного з дизеля / В.І. Захарчук, О.П. Сітовський, І.С. Козачук // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2005. – Вип. 16. – С. 276–278.

5. Захарчук В.І. Удосконалення газового двигуна, конвертованого з дизеля / В.І. Захарчук, О.В. Захарчук // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – 2006. – Вип. 18. – С. 120–125.

6. Захарчук В.І. Улучшение эксплуатационных свойств газового двигателя, конвертированного с дизеля / В.І. Захарчук, О.Ф. Сітовський, О.В. Захарчук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2006. – №7 (77). – С. 143–147.

7. Захарчук В.І. Дослідження газового двигуна, переобладнаного з тракторного дизеля / В.І. Захарчук, І.С. Козачук // Техніка АПК. – 2007. – №6. – С. 36–38.

8. Захарчук В.І. Можливість переобладнання дизелів сільськогосподарської техніки у газові двигуни / В.І. Захарчук, І.С. Козачук, О.В. Захарчук // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. -2009. – Випуск 18. – С. 127–132.

9. Захарчук В.І. Аналіз властивостей альтернативних палив для автотракторних дизелів / В.І. Захарчук, В.В. Ткачук // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – 2010. – Вип. 28. – С. 227–230.

10. Захарчук В.І. Експлуатаційні показники біодизельних палив / В.І. Захарчук, В.В. Ткачук // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2010. – Вип. № 7. – С. 98–102.

11. Захарчук В.І. Перспективи застосування ізопропілового ефіру ріпакової олії в якості дизельного палива / В.І. Захарчук, В.В. Ткачук // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – 2010. – Вип. №20. – С. 78–84.

12. Захарчук В.І. 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.

13. Захарчук В.І. Екологічні показники біопалив для дизелів / В.І.Захарчук, В.В. Ткачук, О.В. Захарчук // «Экология и промышленность». – 2011. – №2. – С. 70–73.

14. Захарчук В.І. Розробка нового біопалива та дослідження його властивостей / В.І.Захарчук, В.В.Ткачук, М.Б.Стахов // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – 2012. – Випуск 22. – С. 83–89.

15. Захарчук В.І. Оцінка доцільності переведення транспортних засобів на альтернативні палива з технічної та екологічної позицій / В.І. Захарчук // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – №30 (1003). – С. 79–84.

16. Захарчук В.І. Методика підбору альтернативних моторних палив для транспортних засобів / В.І. Захарчук // Вісник Національного транспортного університету. – 2013. – Вип. 27. – С. 195–201.

17. Захарчук В.І. Оцінка показників двигуна при його роботі на альтернативних паливах / В.І.Захарчук, Ю.В.Захарчук // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – 2014. – Вип. 45. – С. 204–209.

18. Захарчук В.І. Екологічні показники колісного трактора при роботі на альтернативних паливах / В.І.Захарчук, Ю.В.Захарчук // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – 2014. – Вип. 27. – С. 49–53.

19. Захарчук В.І. Оцінка експлуатаційних показників моторних палив методом аналізу ієрархій / В.І. Захарчук // Вісник ЖДТУ: Житомир. – 2014. – Вип. 69. – С. 213–217.

20. Захарчук В.І. Адаптування біодизельного палива до використання в автотракторній техніці / В.І.Захарчук, В.В.Ткачук, О.В.Захарчук, Ю.О.Цикун // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті: наук. журнал. – 2015. – №2. – С. 43–48.

21. Захарчук В.І. Оцінка перспективності застосування альтернативних палив в технологічних транспортних засобах / В.І. Захарчук // Вісник НТУ «ХПІ». – 2015. – №8 (1117). – С. 76–81.

22. Захарчук В.І. Методологія вибору альтернативних палив для технологічних транспортних засобів // В.І. Захарчук, Г.А. Хайліс // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. – 2015. – випуск 33. – С. 63–70.

Патенти

23. Пат. 24970 UA МПК (2006) F02B11/00. Спосіб конвертації дизеля в газовий двигун внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням / Захарчук В.І., Козачук І.С., Захарчук О.В. (Україна). – Опубл. 25.07.2007. – Бюл. №11.

24. Пат. 37674 UA. МПК(2006) F02B 11/00. Конвертований з дизеля газовий двигун внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням / Захарчук В.І., Матейчик В.П., Захарчук О.В. (Україна). – Опубл. 10.12.2008. – Бюл. №9.

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

26. Пат. 57168 UA МПК (2011.01) F02B11/01. Система живлення конвертованого з дизеля двигуна для роботи на альтернативних паливах / Захарчук В.І., Захарчук О.В. (Україна). – Опубл. 10.02.2011. – Бюл. №3.

27. Пат. 51895 UA. МПК(2009) F02B 11/00. Спосіб переобладнання дизеля для роботи на біопаливах / Захарчук В.І., Захарчук О.В., Стахов М.Б. (Україна). – Опубл. 10.08.2010. – Бюл. №15.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

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

29. Захарчук В.І. Оценка эксплуатационных свойств изопропилового эфира рапсового масла / В.І. Захарчук, В.В. Ткачук // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник Национальной академии наук Беларуси. – Минск, 2010. – Вып. 44. – С. 129–133.

30. V. Zaharchuk, V. Tkachuk, O. Zaharchuk/ Estimation of biodiesel fuel on the basis of rape oil and isopropyl alcohol // Polish academy of sciences, branch in Lublin, volume XI, Lublin, 2011, p. 450–456.

31. Zaharchuk V., Tkachuk V., Usenko M. ESTIMATION OPERATIONAL PROPERTIES OF BIODIESEL FUEL – ISOPROPYL ESTERS RAPE OIL // INMATEH – agricultural engineering. – Bucharest, Romania, vol. 34, №2, 2011, p. 87–90.

32. Захарчук В.І. Показатели работы дизеля на экологически безопасном биодизельном топливе / В.І.Захарчук, В.В.Ткачук, О.В.Захарчук // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – №6. – С. 31–34.

33. Захарчук В.І. Технология получения и эксплуатационные характеристики изопропилового эфира рапсового масла / В.І.Захарчук, В.В.Ткачук // Химия и технология топлив и масел. – 2012. №6 (574) – С.3–7.

Матеріали конференцій

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

35. Захарчук В.І., Козачук І.С. Інноваційна технологія переобладнання дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням // Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Науковий парк та інноваційна інфраструктура університету як основа розвитку освіти та науки». – Луцьк, 2013. – С. 73–74.

36. Захарчук В.І. Улучшение эксплуатационных характеристик биодизельного топлива / Материалы XXI научно-технической конференции с международным участием «Транспорт, экология – устойчивое развитие». – Варна, 2015. – С. 250–256.

АНОТАЦІЯ

Захарчук В.І. Методологічні основи використання альтернативних моторних палив у засобах транспорту. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2016.

Дисертація присвячена проблемі вибору моторних палив для технологічних транспортних засобів.

Розроблена загальна методологія оцінювання показників функціонування технологічних транспортних засобів на альтернативних паливах за критеріями адаптованості, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації, які включає в себе загальний критерій вибору палива. Розроблена модель функціонування системи «паливо-двигун-транспортний засіб», що дозволяє здійснити вибір раціонального виду палива.

Розроблені методики та математичні моделі для визначення паливо-економічних та екологічних показників технологічних транспортних засобів за сформованим їздовим циклом.

Визначено загальний критерій вибору палива для використовуваного в якості технологічного транспорту колісного трактора при його роботі на нафтовому паливі, біодизельному паливі та природному газі, а також для вантажного автомобіля під час його роботи на бензині, зрідженому нафтовому газі та природному газі.

Ключові слова: альтернативні моторні палива, технологічний транспорт, система, критерії, адаптованість, екологічна безпека, економічна ефективність, математичне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Захарчук В.И. Методологические основы использования альтернативных моторных топлив в средствах транспорта. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена проблеме выбора моторных топлив для технологических транспортных средств.

Разработана общая методология оценивания показателей функционирования технологических транспортных средств на альтернативных топливах за критериями адаптированности, экологической безопасности и экономической эффективности эксплуатации, в рамках которой:

- разработана модель функционирования системы «топливо-двигатель-транспортное средство» с использованием системных объектов, которые имеют место в эксплуатационных условиях, что позволяет оценивать влияние вида

используемого топлива на показатели технологических транспортных средств одновременно за критериями адаптированности, экологической безопасности и экономической эффективности эксплуатации, которые включает в себя общий критерий выбора топлива;

- с использованием методики, разработанной на основе метода анализа иерархий, определено топливо с наилучшими эксплуатационными показателями;
- разработана методика оценки экологических показателей средств технологического транспорта за количеством, предельно допустимыми концентрациями и классом опасности веществ, выбрасываемых с отработавшими газами;
- выполнена комплексная оценка перспективности перевода транспортных средств на альтернативные моторные топлива с позиций технической адаптированности, экологической безопасности и экономической эффективности эксплуатации.

Поскольку стандартные ездовые циклы для колесных тракторов, используемых в качестве технологических средств, отсутствуют, для оценки показателей такой техники сформирован ездовой цикл, который включает основные режимы движения. Разработаны методы и математические модели для определения топливо-экономических и экологических показателей технологических транспортных средств при их движении за принятым ездовым циклом. Проверка адекватности математических моделей движения технологических транспортных средств путем сравнения расчетных и экспериментальных данных подтвердила их адекватность. Выполнена также проверка адекватности математической модели системы «топливо-двигатель-транспортное средство» в целом.

Экспериментальные исследования дизеля Д-243 при работе на новом биотопливе показали увеличение удельного расхода топлива в пределах 4...6 % при незначительном уменьшении мощности двигателя. Имеет место уменьшение выбросов сажи до 35% и некоторое увеличение выбросов оксидов азота. Переоборудованный с дизеля Д-243 газовый двигатель работоспособный, его мощность близка к мощности базового дизеля, эквивалентный удельный расход топлива до 25 % больше, а суммарная токсичность отработавших газов газового двигателя, приведенная к оксиду углерода, в 1,96 раза меньше, чем у базового дизеля. Дорожные испытания колесного трактора МТЗ-80 на разных АМП подтвердили возможность их применения.

Определен критерий адаптированности системы к альтернативным топливам за методом анализа иерархий при работе на разных топливах. Критерий экологической безопасности технологического транспорта определен с учетом количества вредных выбросов, их предельнодопустимых концентраций и класса опасности. Также определен критерий экономической эффективности эксплуатации используемого в качестве технологического средства трактора МТЗ-80 при работе на нефтяном дизельном топливе, природном газе и биодизеле и автомобиля ГАЗ-3307 при работе на бензине, природном газе и сжиженном нефтяном газе.

Определен общий критерий выбора рационального вида топлива для использованного в качестве технологического транспорта колесного трактора МТЗ-80 при его работе на нефтяном топливе, биодизельном топливе и природном газе. Наибольшее значение критерия у природного газа в случае его применения в

переоборудованном с дизеля газовом двигателе с искровым зажиганием, несколько ниже значение критерия у биотоплива и наименьшее значение у нефтяного дизельного топлива. Также определен общий критерий выбора топлива для грузового автомобиля ГАЗ-3307 при его работе на бензине, сжиженном нефтяном газе и природном газе. Наибольшее его значение у природного газа и наименьшее у бензина.

На основании предложенной в работе методологии оценивания показателей транспортных средств разработана методика создания целевой комплексной программы перехода автотракторной техники на альтернативные топлива, где у восьми разделах последовательно расписан план действий по достижению поставленной цели.

Ключевые слова: альтернативные моторные топлива, технологический транспорт, система, критерии, адаптированность, экологическая безопасность, экономическая эффективность.

ABSTRACT

Zakharchuk V. I. Methodological basis for the use of alternative motor fuels in the transport. – Manuscript.

Thesis for a Doctor Degree in Technical Sciences: speciality 05.22.20 – Operation and Repair of Vehicles. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The thesis is devoted to the problem of choice of motor fuels for technological vehicles.

It is developed a common methodology of estimating the factors of vehicles functioning on alternative fuels on criteria of technical suitability, environmental safety and economic efficiency of operation. It is developed the model of functioning the system "fuel-engine-vehicle" that allows to choose the optimum type of fuel.

It is developed methods and mathematical models for determining the fuel-economic and environmental factors of vehicles by adopted driving cycle.

It is determined a common criteria of choosing the fuel for such vehicle as a wheeled tractor when operating on oil fuel, biodiesel fuel, natural gas. Also for such vehicle as a truck when operating on petrol, liquefied petroleum gas and natural gas.

Key words: alternative motor fuels, vehicle, system, criteria, suitability, environmental safety, economic efficiency, mathematical model.