

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Садовник Іван Іванович

УДК 629.33 : 621.43 : 661.931

**ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ З БЕНЗИНОВИМ ДВИГУНОМ
ДОДАВАННЯМ ВОДНЕВМІСНОГО ГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ
РЕКУПЕРОВАНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету (НТУ) Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Цюман Микола Павлович,
Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри двигунів і теплотехніки (м. Київ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Абрамчук Федір Іванович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння
(м. Харків);

кандидат технічних наук
Устименко Віктор Сергійович,
Державне підприємство «ДержавтотрансНДІпроект»,
заступник завідувача відділу законодавчого
забезпечення виконання міжнародних договорів у сфері
транспорту (м. Київ).

Захист відбудеться « 12 » травня 2021 року о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 у Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, аудиторія 209.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Бойчука, 42.

Автореферат розіслано « » квітня 2021 року.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради



Ю.А. Мейш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективність функціонування автомобільного двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) визначається здатністю перетворювати енергію, внесену з паливом, в корисну роботу та рівнем забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами. Аналіз конструкцій сучасних автомобільних ДВЗ свідчить про постійне їх удосконалення, що направлене на поліпшення ефективності використання палива та екологічних показників, зокрема, поліпшенням якості процесу згорання, зменшенням теплових втрат, механічних втрат, використанням теплової енергії систем мащення, охолодження та випуску відпрацьованих газів (ВГ), застосуванням систем каталітичної нейтралізації шкідливих речовин, ефективним використанням альтернативних палив в умовах експлуатації, тощо.

Останнім часом з метою поліпшення паливної економічності та зниження викидів сполук вуглецю, зокрема, вуглекислого газу, пропонуються різні способи додавання водню або водневмісних сумішей до паливоповітряної суміші автомобільних двигунів. Для вивчення ефектів додавання водню на витрату палива та викиди проводяться численні наукові дослідження. Такий інтерес до використання водню замість традиційних вуглеводневих палив обумовлений насамперед його високими енергетичними показниками та можливістю значно знизити або повністю позбутися викидів оксидів вуглецю та вуглеводнів.

Одним із способів ефективного використання водню є додавання водневмісного газу до повітряного заряду, наприклад, синтез-газу, ацетилену або гримучого газу (газу Брауна). Останній викликає значний інтерес для практичного використання оскільки може бути отриманий простим способом в результаті електролізу водних розчинів лугів. В ряді робіт проведено дослідження впливу добавки водневмісного газу з різними способами отримання і подачі до різних типів двигунів, яке свідчить про суттєвий позитивний ефект такої добавки.

Однак, використання енергії для роботи електролізера від штатного джерела електричного живлення автомобіля має негативний ефект на енергетичні показники двигуна внаслідок збільшення механічного навантаження з боку електричного генератора. В режимах неповного навантаження це проявляється у додатковій витраті палива. Це практично нівелює позитивний вплив використання водневмісного газу на показники робочого процесу двигуна.

Тому, в умовах експлуатації автомобільного двигуна важливо забезпечити джерело електричної енергії для живлення генератора водневмісного газу, яке б не мало негативного впливу на показники двигуна і не потребувало додаткових витрат палива. З урахуванням того, що близько 60 % енергії, що вноситься з паливом у двигун втрачається у вигляді теплових втрат, актуальним джерелом додаткової електричної енергії є термоелектричний генератор. Тому, актуальною задачею є пошук шляхів ефективного практичного застосування термоелектричних генераторів для забезпечення функціонування системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням з метою поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобілів, чому і присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась згідно плану наукових робіт Національного транспортного університету (НТУ): на 2016 рік за темою "Розробка і дослідження систем моніторингу засобів транспорту на основі інформаційних систем в умовах експлуатації", державна реєстрація №0116U007887; на 2016-2018 роки за темою "Поліпшення показників транспортних засобів удосконаленням систем двигунів та застосуванням альтернативних палив", державна реєстрація №0116U007533; на 2019-2020 роки за темою "Зниження витрати палива і шкідливих викидів двигунами дорожніх транспортних засобів оптимізацією конструктивних і експлуатаційних факторів", державна реєстрація №0119U100692.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля з бензиновим двигуном додаванням водневмісного газу до повітряного заряду з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

Для досягнення мети вирішуються такі завдання:

1. Аналіз використання різних способів рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів та додавання до повітряного заряду двигунів внутрішнього згоряння водневмісних газів для поліпшення їх паливної економічності та екологічних показників.

2. Розробка методики проведення досліджень впливу додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів на паливну економічність та екологічні показники автомобіля.

3. Розробка системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

4. Розробка алгоритму математичного моделювання показників автомобіля з використанням розробленої системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна.

5. Проведення експериментальних досліджень бензинового двигуна обладнаного системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду та термоелектричним генератором для перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

6. Проведення розрахункових досліджень впливу використання запропонованої системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна на паливну економічність і екологічні показники автомобіля в режимах їздового циклу.

7. Розробка рекомендацій щодо вибору доцільних значень параметрів системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

Об'єкт дослідження – вплив використання системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів на паливну економічність та екологічні показники автомобіля.

Предмет дослідження – визначення доцільних значень параметрів системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів для поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля.

Методи дослідження. Для визначення доцільних значень параметрів системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів та їх впливу на паливну економічність та екологічні показники автомобіля використано розрахунково-експериментальний метод.

Експериментальним методом визначено вплив використання системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів на індикаторні, ефективні і екологічні показники двигуна VW BBY; отримано поліноміальні залежності для визначення інтенсивності термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, витрати палива та концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах з урахуванням додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигуна в залежності від режиму його роботи.

Розрахунковим методом визначено доцільні значення параметрів системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів та їхній вплив на паливну економічність і екологічні показники автомобіля в режимах їздового циклу згідно Правил СЕК ООН № 83-05.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблено метод забезпечення виробництва водневмісного газу з використанням термоелектричної рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів бензинового двигуна та умови його використання під час експлуатації автомобільного транспортного засобу.

Уточнено поліноміальні залежності витрати палива, концентрацій шкідливих речовин та інтенсивності термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів від режиму роботи бензинового двигуна, які враховують додавання водневмісного газу до його повітряного заряду.

Отримано закономірності впливу параметрів системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, зокрема, інтенсивності додавання водневмісного газу до повітряного заряду та номінальної потужності термоелектричного перетворення, на ефективність накопичення електричної енергії в додатковій батареї, витрату палива та шкідливі викиди автомобілем під час його руху в їздовому циклі.

Практичне значення одержаних результатів. Система додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

Алгоритм математичного моделювання показників автомобіля з системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

Результати оцінки впливу використання системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів на індикаторні, ефективні і екологічні показники двигуна.

Рекомендації щодо вибору доцільних значень параметрів системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

Результати роботи прийняті до використання в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» та в Директораті автомобільного та електричного міського транспорту Міністерства інфраструктури України (м. Київ), Українському науково-дослідному та навчальному центрі хімотології і сертифікації паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин Національного авіаційного університету (м. Київ).

Особистий внесок здобувача. Здобувачем визначено основні конструктивні параметри системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів [5, 2, 9, 11, 4]; розроблено алгоритм математичного моделювання показників автомобіля з розробленою системою додавання водневмісного газу [6, 7, 3, 13-16]; проведено стендові дослідження двигуна VW BBU з розробленою системою додавання водневмісного газу в широкому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів [4, 1]; уточнено поліноміальні залежності для визначення інтенсивності термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, витрати палива та концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах з урахуванням додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигуна [1]; проведено розрахункові дослідження впливу використання розробленої системи додавання водневмісного газу на паливну економічність і екологічні показники автомобіля Scoda Fabia в режимах їздового циклу згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05 [8, 10, 1]; розроблено рекомендації щодо вибору доцільних значень параметрів системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів [12].

Апробація результатів дисертації. Результати роботи були представлені та схвалені на LXXIII, LXXIV, LXXV наукових конференціях викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ в 2017–2019 рр. (м. Київ); на XXVIII, XIX, XXX Міжнародних конференціях "Systemy i Srodki Transportu Samochodowego" в Жешувській політехніці в 2017–2019 рр. (м. Жешув, Польща); на 15-й, 16-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Наука – образованию, производству, экономике» в БНТУ в 2017–2018 рр. (м. Мінськ, Білорусь); на 8-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» у Херсонській державній морській академії в 2017 р. (м. Херсон); на Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті в 2018 р. (м. Харків); на Міжнародному симпозіумі «Electric Aviation and Autonomous Systems ISEAS20» в Національному авіаційному університеті в 2020 р. (м. Київ).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 16 наукових працях, з яких: 1 стаття у іноземному фаховому науковому виданні, що індексується у науково-метричній базі Scopus, відноситься до третього квартилю Q3; 3 статті у фахових виданнях (розділах іноземних монографій); 8 публікацій у матеріалах наукових конференцій. Отримано 4 свідоцтва на інтелектуальну власність.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 224 сторінки, включаючи 138 сторінок основного тексту, 9 таблиць, 74 рисунки, список використаних джерел з 110 найменувань та 16 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету й завдання, об'єкт, предмет та методи дослідження, висвітлено наукову новизну й практичну цінність одержаних результатів, надано інформацію щодо особистого внеску здобувача та апробацію результатів.

У **першому розділі** здійснено аналіз втрат теплової енергії автомобільного двигуна та їх вплив на паливну економічність та екологічні показники автомобіля, способів рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів; описано спосіб термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів двигуна та можливості його використання для поліпшення показників автомобіля.

Ефективність використання автомобіля, зокрема, його паливна економічність та екологічні показники, значною мірою залежить від ефективності роботи його двигуна. На автомобільному транспорті сьогодні переважає використання двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Ефективність роботи ДВЗ значною мірою залежить від втрат енергії під час його роботи.

Умовно, усі втрати енергії, внесеної з паливом, можна розподілити за складовими за місцем їх виникнення. Так, виділяють теплові втрати у систему охолодження, систему мащення, з відпрацьованими газами (ВГ), інші втрати.

Серед відомих способів використання енергії відпрацьованих газів для поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобільного двигуна можна виділити: привід турбокомпресора в системах газотурбінного наддуву автомобільних ДВЗ; рециркуляцію відпрацьованих газів; заряджання теплового аккумулятора та використання накопиченої теплової енергії для поліпшення показників двигуна в режимах його прогріву. Використання цих способів дозволяє певною мірою поліпшити показники двигуна.

З іншого боку, можлива термоелектрична рекуперація теплової енергії ВГ, що полягає у застосуванні термоелектричного ефекту при дії перепаду температур на кінцях пари різнорідних провідників (термопари), послідовне з'єднання яких дозволяє створити термоелектричний модуль, які, в свою чергу, об'єднують у термоелектричний генератор (ТЕГ) з визначеними характеристиками. Отримана таким чином електрична енергія може використовуватись в автомобілі для живлення різних електричних споживачів. Дослідження термоелектричних генераторів різних конструкцій описано у працях українських вчених Інституту термоелектрики Анатичука Л.І. та Кузя Р.В., зарубіжних: Гао Міня, Дж. Феірбенкса та інших.

Питання реалізації конкретного способу використання отриманої електричної енергії та оцінювання ефективності її використання для поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля потребує проведення окремого дослідження.

У **другому розділі** визначено загальну структуру методики проведення досліджень; розроблено систему додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів; визначено основні розміри та характеристики термоелектричного генератора.

Оскільки, отримуваний розподіл теплових втрат ДВЗ залежить від особливостей його робочого процесу, то усі способи впливу на робочий процес ДВЗ також впливають і на розподіл його теплових втрат. Одним із таких способів є додавання водневмісного газу до повітряного заряду, який є відомим способом поліпшення ефективних показників двигуна. Дослідженням використання водневмісних газів для їх добавки до свіжого заряду ДВЗ присвятили свої наукові праці багато вчених, серед яких є також роботи, що виконувались безпосередньо на кафедрі двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету Гутаревичем Ю.Ф., Шубою Є.В. та іншими. Під час досліджень на кафедрі використовувався водневмісний газ, що отримувався шляхом електролізу водного розчину лугу. До складу такого газу входить суміш водню і кисню.

За результати попередніх досліджень встановлено, що цей спосіб може використовуватись паралельно із розглянутими у першому розділі. Однак, головною проблемою використання водневмісного газу, отриманого шляхом електролізу, на борту автомобіля є питання енергозабезпечення процесу виробництва даного газу. Одним із можливих методів комплексного вирішення вказаної проблеми забезпечення виробництва водневмісного газу є використання розглянутої вище термоелектричної рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів.

Методика дослідження передбачає визначення ефективності використання запропонованого методу рекуперації енергії для забезпечення виробництва водневмісного газу та включає проведення стендових випробувань двигуна, обладнаного засобами для подачі водневмісного газу та термоелектричного перетворення теплової енергії, у різних швидкісних і навантажувальних режимах роботи та визначення параметрів робочого циклу та процесу згоряння, параметрів системи управління двигуном, витрати палива та концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах з використанням спеціалізованого апаратного і програмного забезпечення.

Практична реалізація дослідження полягала у розробці і випробуваннях на двигуні системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, що пропонується в даній роботі, представлена на рис. 1.

Дана система містить генератор водневмісного газу для його виробництва і подачі у впускну систему двигуна, додаткову акумуляторну батарею для забезпечення енергопостачання генератора газу, термоелектричний генератор у випускній системі для забезпечення заряджання додаткової батареї шляхом рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів у електричну.

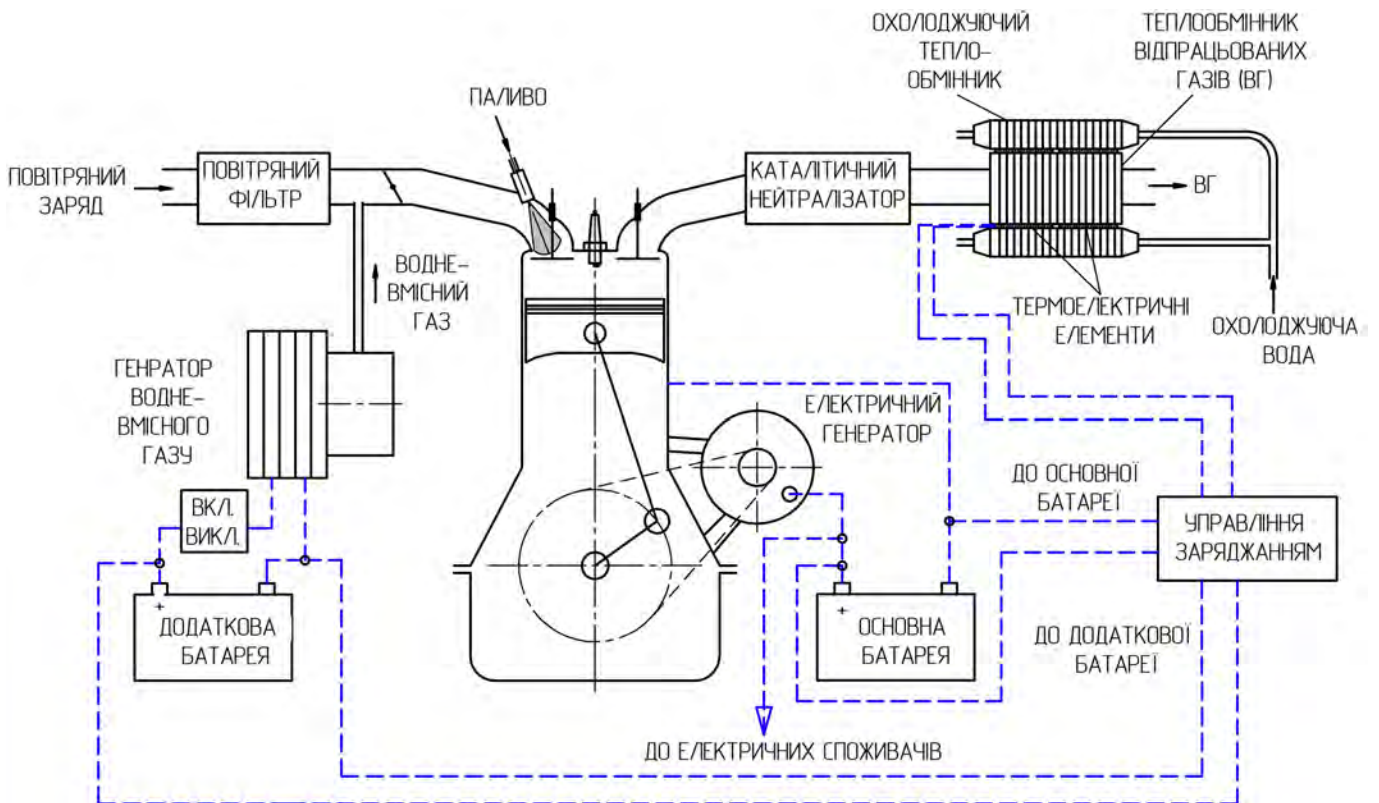


Рисунок 1 – Система додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів

В процесі випробувань передбачалось використання генератора водневмісного газу з продуктивністю 3 л/хв., що споживає електричну енергію потужністю 360 Вт. На основі необхідної потужності для роботи генератора газу здійснено розрахунок теплообмінників для відпрацьованих газів та охолоджуючої рідини. На основі цього виконано проектування теплообмінника відпрацьованих газів та охолоджуючого теплообмінника. Площі поверхонь теплообміну складають 0,089 м² для ВГ та 0,177 м² для охолоджуючої рідини. Габаритні розміри термоелектричного генератора з такими теплообмінниками склали 238x118x95 мм з урахуванням з'єднувальних дифузорів. Дана конструкція термоелектричного генератора дозволяє розмістити 8 термоелектричних модулів загальною номінальною потужністю 152 Вт.

У **третьому розділі** представлено структуру алгоритму математичного моделювання; описано особливості моделювання показників двигуна при додаванні водневмісного газу до повітряного заряду під час руху автомобіля в їздовому циклі та показників термоелектричного перетворення теплової енергії ВГ.

Для проведення досліджень було уточнено математичну модель для оцінювання показників двигуна та транспортного засобу обладнаного системою додавання водневмісного газу до повітряного заряду з використанням термоелектричного генератора. Ця математична модель використовується для оцінювання витрати палива та викидів автомобіля під час його руху в режимах їздового циклу згідно Правил ЄЕК ООН № 83-05 з використанням розробленої системи додавання водневмісного газу. Об'єктом безпосередніх досліджень є автомобіль Scoda Fabia з двигуном VW BBY.

Для використання математичної моделі двигуна в процесі руху автомобіля в циклі визначено необхідний крутний момент двигуна M_e і частоту обертання колінчастого вала n_{∂} , які забезпечують відповідні швидкість V_a і прискорення j_a автомобіля. Алгоритм математичної моделі показаний на рис. 2.

У блоці 2 проводиться встановлення параметрів: коефіцієнту дорожнього опору, ψ , атмосферного тиску, p_0 , Па, температури навколишнього середовища, T_0 , К. У блоці 3 вводяться технічні параметри системи додавання водневмісного газу: продуктивність генератора водневмісного газу q_{HNO} , л/хв., та питома електрична потужність, що споживається генератором водневмісного газу $n_{G HNO}$, Вт/(л/хв).

У блоці 4 відбувається визначення параметрів режиму роботи двигуна ТЗ в поточному режимі руху: τ_{pj} – значення часу в момент завершення поточного режиму руху ТЗ, с, $n_{\partial j}^{поч.}$, $n_{\partial j}^{кінц.}$ – початкове і кінцеве значення частоти обертання колінчастого вала двигуна в поточному режимі руху, $хв^{-1}$, $M_{ej}^{поч.}$, $M_{ej}^{кінц.}$ – початкове і кінцеве значення ефективного крутного моменту двигуна в поточному режимі руху, Н·м. У блоці 5 встановлюються початкові значення температур охолоджуючої рідини $T_{Bi} = T_0$ та каталітичного нейтралізатора $T_{ni} = T_0$, К.

У блоках 7-12 встановлюється режим руху ТЗ, який відповідає поточному моменту часу руху за умови $\tau_i \leq \tau_{pj}$ відповідно до послідовності і тривалості режимів руху в їздовому циклі: зупинка руху, прискорення, перемикавання передачі, постійна швидкість, сповільнення, сповільнення з виключеним зчепленням. Відповідно до цих режимів руху у блоках 13-16 встановлюється один із чотирьох можливих режимів роботи двигуна: холостий хід, розгін двигуна, усталений режим роботи, гальмування двигуна в режимі примусового холостого ходу.

Під час моделювання перехідних режимів роботи двигуна вважається, що при переході від режиму холостого ходу до режиму розгону двигуна буксування зчеплення відсутнє і двигун одразу сприймає повне навантаження з боку зовнішніх сил опору руху автомобіля; при переході від навантаженого режиму до режиму холостого ходу сповільнення двигуна до мінімальної частоти обертання при даній температурі охолоджуючої рідини в режимі холостого ходу відбувається миттєво. Таке спрощення вбачається достатньо обґрунтованим з огляду на той факт, що практичне збільшення витрати палива в початковій стадії розгону із блокуванням зчеплення порівняно із розгоном при буксуючому зчепленні компенсується зменшенням витрати палива в режимі холостого ходу при мінімальній частоті обертання порівняно із витратою в цьому режимі при сповільненні з більшою частотою обертання. Як буде показано далі дана особливість математичної моделі не погіршує її адекватність.

У блоці 21 відбувається визначення поточного значення коефіцієнта надміру повітря в режимі прогріву двигуна, $\alpha_i = f(T_{Bi})$. Для прогрітого двигуна склад паливоповітряної суміші залежить від навантаження: якщо навантаження не перевищує 80 % ($0,8 \cdot M_e \approx 80 \dots 100$ Нм при $1200 \dots 3800$ $хв^{-1}$ для двигуна VW автомобіля Scoda Fabia), то склад суміші відповідає стехіометричному ($\alpha = 1$).

У блоці 22 проводиться визначення коефіцієнта наповнення двигуна свіжим зарядом як функції $\eta_{vi} = f(n_{\partial i}, M_{ei})$ або $\eta_v^{HNO} = f(n_{\partial i}, M_{ei})$.

У блоці 23 проводиться перевірка умови $(n_{oi} \cdot M_{ei})/9550 > 8,0$, за якою здійснюється добавка водневмісного газу до повітряного заряду. У блоці 24 здійснюється визначення частки водневмісного газу у повітряному заряді, $g_{HNO\ i}$. У іншому випадку у блоці 25 встановлюються значення параметрів $q_{HNO} = 0$, $g_{HNO\ i} = 0$.

В залежності від виконання умови додавання водневмісного газу у блоках 26, 27 відбувається визначення миттєвих значень годинної витрати палива двигуном, $G_{нал}^{HNO\ i}$ або $G_{нал\ i}$.

В режимі примусового холостого ходу в режимі сповільнення із включеним зчепленням споживання палива і викидів не відбувається (якщо $n_d > 1200\text{ хв}^{-1}$). Тоді, у блоці 28 встановлюється значення витрати палива $G_{нал\ i} = 0$.

У блоках 29, 30 визначаються концентрації CO (%), C_mH_n (млн⁻¹), NO_x (млн⁻¹) та CO_2 (%) до каталітичного нейтралізатора.

Далі відбувається розрахунок екологічних показників. У блоці 33 здійснюється визначення годинної витрати повітря, $G_{пov,i}$, кг/год. У блоці 34 визначається витрата водневмісного газу, $G_{HNO\ i}$, кг/год. У блоці 35 визначається масова витрата ВГ, $G_{ВГi}$, кг/год.

Для визначення ефективності нейтралізатора, у блоці 36 визначається температура ВГ, $T_{ВГi}$, К. У блоці 37 визначається температура каталітичного блоку нейтралізатора T_{Hi} , К. На основі цього у блоці 38 проводиться визначення ефективності нейтралізації CO , C_mH_n , NO_x , %.

У блоці 39 здійснюється визначення концентрацій CO (%), C_mH_n (млн⁻¹), NO_x (млн⁻¹) після каталітичного нейтралізатора. На основі цих концентрацій у блоці 40 проводиться визначення масових викидів CO , C_mH_n , NO_x та CO_2 (кг/год).

Потужність термоелектричного генератора $N_{ТЕГ\ i}$ визначається у блоці 41, Вт. На основі цього значення та в залежності від споживання водневмісного газу у блоці 42 визначається поточне значення накопиченої у додатковій батареї електричної енергії, $E_{E\ i}^{AD}$, Дж.

На основі поточних значень годинної витрати палива та викидів i -тої шкідливої речовини у блоках 43 і 44 здійснюється визначення поточних сумарних значень витраченого палива та викидів шкідливих речовин, $g_{нал\ i}$, $g_{i\ i}$, Г.

У блоці 47 здійснюється визначення температури охолоджуючої рідини, T_{Bi} , К, де T_B^{pob} – робоча температура охолоджуючої рідини, К, $\tau_{прогр}^{ox}$ – час прогріву охолоджуючої рідини до робочої температури (на основі експериментальних даних), с.

У блоці 48 перевіряється умова завершення поточного режиму руху ТЗ, $\tau_i > \tau_{p\ j}$. У разі виконання цієї умови здійснюється зміна номеру режиму руху ТЗ в їздовому циклі, $j = j + 1$, і розрахунок продовжується у блоці 4. У випадку невиконання умови розрахунок продовжується у блоці 6.

За представленим алгоритмом математичного моделювання розроблено програму розрахунку в середовищі Microsoft Visual Fortran, яка захищена свідоцтвами про інтелектуальну власність № 01875, 01882, 01883, 01884.

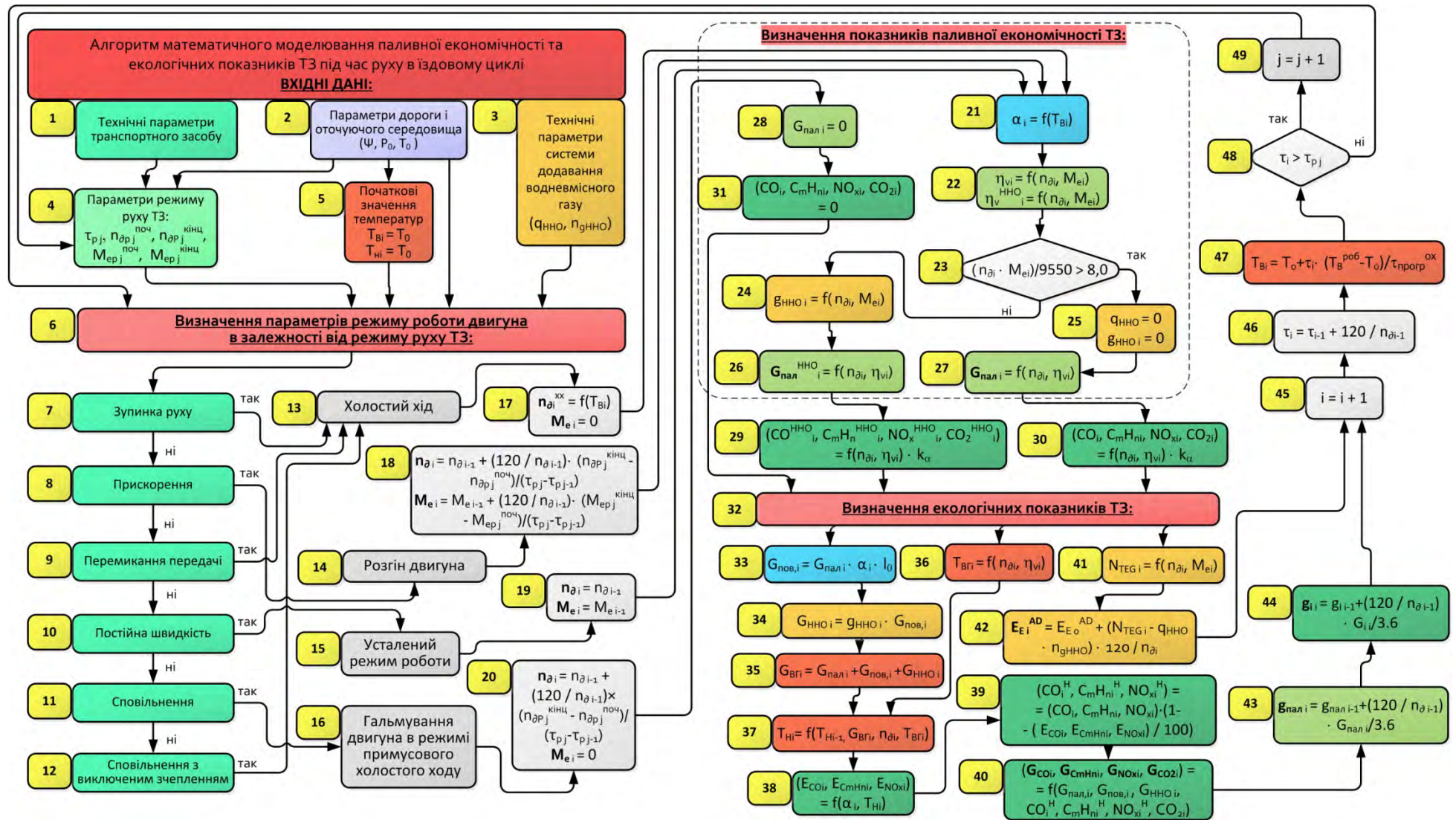


Рисунок 2 – Алгоритм дослідження паливної економічності та екологічних показників транспортного засобу під час руху в їздовому циклі

У **четвертому розділі** визначено мету, програму та об'єкт експериментальних досліджень; описано прилади і обладнання; визначено похибки приладів і вимірювань; представлено результати експериментальних досліджень.

Метою експериментальних досліджень є визначення ефективності пропонованої системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням з використанням термоелектричного генератора. Програма експериментальних досліджень включала визначення серії навантажувальних характеристик двигуна в діапазоні частот обертання від 1200 до 3800 хв^{-1} із індицируванням робочого процесу та визначенням параметрів роботи термоелектричного генератора з використанням системи додавання водневмісного газу та без неї.

Об'єктом експериментальних досліджень був чотиритактний бензиновий двигун з іскровим запалюванням, рідинним охолодженням та електронною системою управління, обладнаний системами нейтралізації і рециркуляції ВГ моделі VW BBU, що встановлюється на автомобілі Scoda Fabia. В процесі випробувань використовувалось обладнання лабораторії випробувань двигунів кафедри для визначення витрат палива і повітря, параметрів системи управління двигуном, робочого процесу в циліндрі, концентрацій шкідливих речовин у ВГ, температури ВГ, параметрів виробництва електричної енергії ТЕГ та її споживання генератором водневмісного газу, кількості виробленого водневмісного газу.

За результатами експериментальних досліджень двигуна VW BBU при використанні розробленої системи додавання водневмісного газу встановлено, що найбільший вплив додавання водневмісного газу проявляється в режимах низьких частот обертання та низького навантаження. Наприклад, при частоті обертання 1200 хв^{-1} добавка водневмісного газу призводить до зменшення годинної та питомої витрати палива на 2,4 – 3,8 % (рис. 3). У інших швидкісних режимах ефект дещо знижується.

Вимірюючи значення сили струму і напруги ТЕГ дозволили визначити генеровану електричну потужність (рис. 4). Проведені дослідження показують, що генерована потужність збільшується при збільшенні частоти обертання і навантаження двигуна. Відношенням фактично отриманої потужності ТЕГ до її номінального значення 152 Вт визначено, що максимальний досягнутий к.к.д. теплообмінника складає 70 %.

Як показують результати експериментальних досліджень при частоті обертання 2100 хв^{-1} (рис. 5) додавання водневмісного газу практично не впливає на концентрації шкідливих речовин. Деяке зменшення концентрацій CO і CO₂ пов'язане зі зменшенням вмісту вуглецю в паливоповітряній суміші при додаванні водневмісного газу. Незначне зниження концентрації C_mH_n викликане активізацією процесу згоряння, що сприяє більшій повноті згоряння. Однак внаслідок цього дещо зростають концентрації NO_x. При цьому, після обробки відпрацьованих газів нейтралізатором концентрації шкідливих речовин при добавці водневмісного газу і без неї практично однакові. Для інших частот обертання колінчастого валу отримані подібні результати.

У **п'ятому розділі** здійснено перевірку адекватності математичної моделі двигуна; досліджено вплив використання пропонованої системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду на паливну економічність і екологічні

показники автомобіля в режимах їздового циклу; розроблено рекомендації щодо вибору доцільних значень параметрів системи.

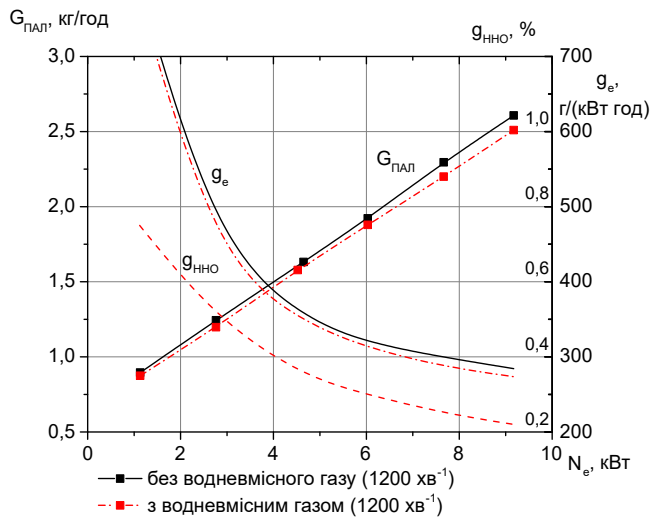


Рисунок 3 – Залежності витрат палива від навантаження двигуна та добавки водневмісного газу

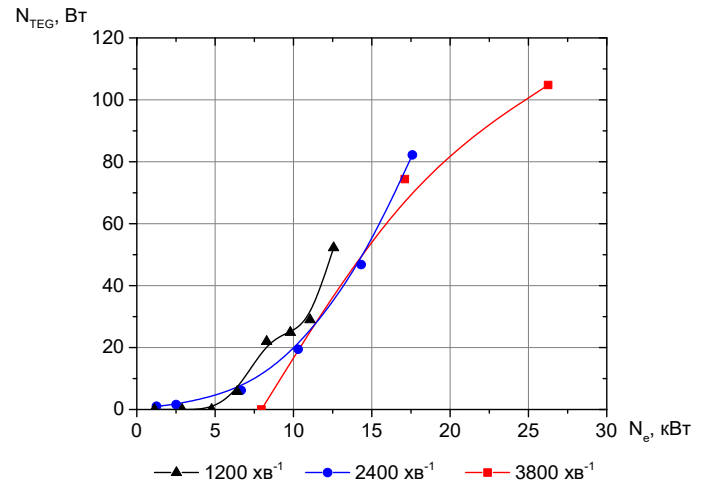


Рисунок 4 – Залежності потужності ТЕГ від навантаження і частоти обертання колінчастого вала двигуна

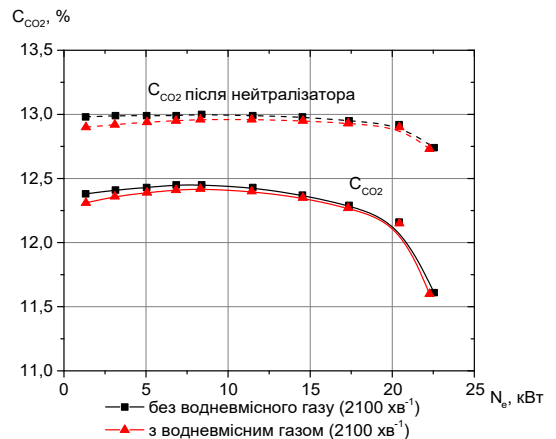
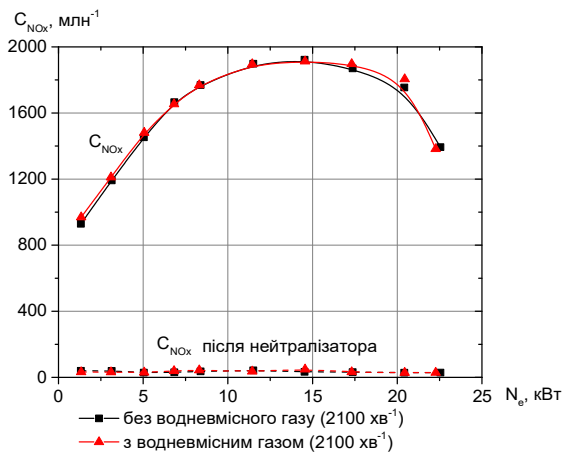
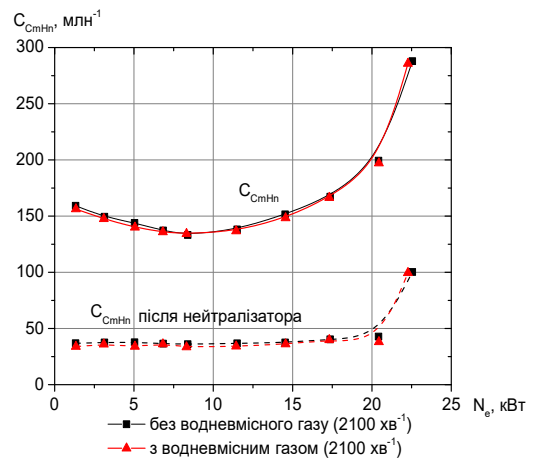
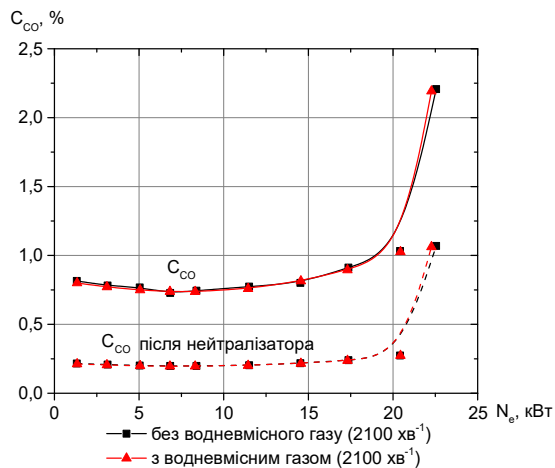


Рисунок 5 – Залежності концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах від навантаження двигуна та добавки водневмісного газу

З використанням математичної моделі було досліджено вплив використання системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигуна з ТЕГ на

витрату палива та викиди шкідливих речовин автомобілем у їздовому циклі за Правилами ЄЕК ООН № 83-05. Адекватність окремих залежностей моделі перевірено за критерієм Фішера, моделі в цілому – порівнянням результатів моделювання витрати палива з даними заводу-виробника автомобіля. Відносна похибка моделювання не перевищує 7,5 %.

За отриманими результатами моделювання встановлено, що при подачах водневмісного газу 3 л/хв сумарна витрата палива за їздовий цикл зменшується на 1,9 %, сумарний викид CO зменшується на 3,6 %, сумарний викид C_mH_n зменшується на 3 %, сумарний викид NO_x зменшується на 1,2 %, сумарний викид CO_2 зменшується на 2,2 %. При подачах водневмісного газу 6 л/хв та 9 л/хв ефект зміни вказаних показників майже пропорційний величині добавки газу. Приклад отриманих результатів моделювання в їздовому циклі для витрати палива та викидів CO_2 представлено на рис. 6.

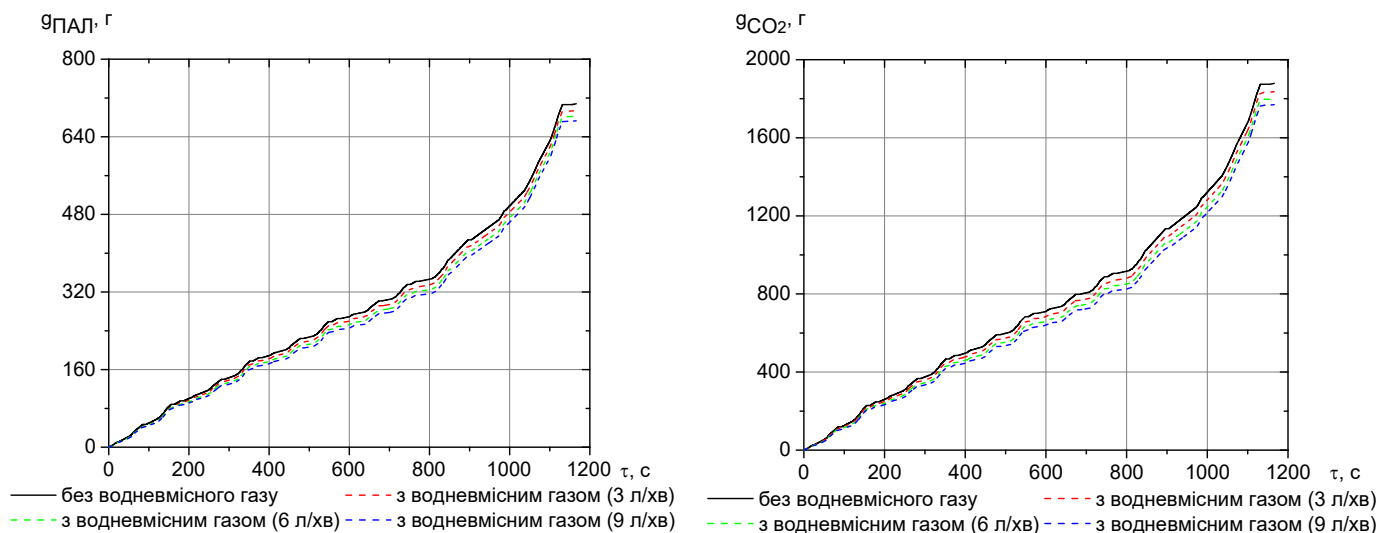


Рисунок 6 – Залежності сумарних витрати палива та викидів CO_2 від часу руху автомобіля в їздовому циклі з різною величиною добавки водневмісного газу

Для визначення доцільних параметрів системи додавання газу було також визначено ступінь зарядженості додаткової батареї, що забезпечує виробництво водневмісного газу, за величиною накопиченої в ній енергії. Встановлено, що при подачах газу від 3 до 9 л/хв ступінь зарядженості батареї після виконання їздового циклу знижується до 90-70 %. Для підвищення цього показника в умовах експлуатації автомобіля необхідно збільшувати потужність ТЕГ. Максимальна можлива потужність ТЕГ для даної конструкції теплообмінника, встановлена на основі оцінювання за результатами проведених досліджень кількості теплової енергії, що може бути рекуперована з ВГ, складає 348 Вт. З урахуванням к.к.д. теплообмінника (70%) номінальна потужність термоелектричних модулів має бути до 500 Вт. З практичних міркувань фактична номінальна потужність ТЕГ може бути збільшена у 3 рази порівняно із дослідженим зразком, тобто 456 Вт для 24-х термоелектричних модулів. Дослідження такого варіанту при подачі водневмісного газу 3 л/хв показало, що рівень зарядженості додаткової батареї складе 96 % після одної поїздки автомобіля, що допустимо в умовах експлуатації.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз розподілу теплових втрат автомобільного бензинового двигуна у різних режимах роботи та умовах експлуатації свідчить про значний вплив рівня цих втрат на паливну економічність та екологічні показники автомобіля. Існуючі способи рекуперації теплової енергії, зокрема, відпрацьованих газів: газотурбінний наддув, рециркуляція, накопичення у тепловому акумуляторі, дозволяють певною мірою поліпшити вказані показники автомобіля. Разом з тим, додавання водневмісного газу до повітряного заряду також є відомим способом поліпшення ефективних показників двигуна через вплив на його робочий процес та розподіл теплових втрат в ньому та може використовуватись паралельно із вказаними способами. Однак, головною проблемою використання водневмісного газу на борту автомобіля є питання енергозабезпечення процесу виробництва даного газу. Одним із можливих методів комплексного вирішення вказаної проблеми забезпечення виробництва водневмісного газу в умовах експлуатації автомобільного транспортного засобу з бензиновим двигуном є використання термоелектричної рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів.

2. З метою дослідження впливу додавання водневмісного газу до повітряного заряду двигуна з використанням термоелектричної рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів на паливну економічність та екологічні показники автомобіля з бензиновим двигуном розроблено відповідну методику. Дана методика включає проведення стендових випробувань двигуна, обладнаного засобами для подачі водневмісного газу та термоелектричного перетворення теплової енергії, у різних швидкісних і навантажувальних режимах роботи та визначення параметрів робочого циклу та процесу згорання, параметрів системи управління двигуном, витрати палива та концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах з використанням спеціалізованого апаратного і програмного забезпечення.

3. Для ефективного використання вказаного методу забезпечення виробництва водневмісного газу створено експериментальний зразок системи додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів, що містить генератор водневмісного газу для його виробництва і подачі у впускну систему двигуна, додаткову акумуляторну батарею для забезпечення енергопостачання генератора газу, термоелектричний генератор у випускній системі для забезпечення заряджання додаткової батареї шляхом рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів у електричну.

4. Для визначення впливу створеної системи на паливну економічність та екологічні показники автомобіля розроблено алгоритм математичного моделювання, що містить логічну послідовність операцій для визначення вказаних показників в процесі руху автомобіля в їздовому циклі. Моделювання здійснюється шляхом послідовного визначення поточних значень коефіцієнту наповнення, годинних витрат палива і повітря, концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах до і після нейтралізатора, ефективності нейтралізації, масових викидів шкідливих речовин, сумарних витрат палива і викидів за їздовий цикл залежно від частки водневмісного газу у повітряному заряді, потужності термоелектричного генератора, кількості енергії, накопиченої у додатковій батареї, у режимах роботи

двигуна відповідних умовам руху автомобіля. Вказані параметри описано поліноміальними залежностями уточненими в процесі експериментальних досліджень.

5. За результатами експериментальних досліджень двигуна VW BBY при використанні розробленої системи додавання водневмісного газу встановлено, що найбільший вплив додавання водневмісного газу проявляється в режимах низької частоти обертання та низького навантаження. В цих режимах використання добавки водневмісного газу призводить до скорочення тривалості згорання, збільшення максимального тиску і температури в циліндрі та потужності двигуна. Завдяки такому впливу у режимах низького навантаження можливо зменшити витрату палива на 2,4-3,8 %. При цьому, концентрації CO, C_mH_n і CO_2 також зменшуються, концентрація NO_x дещо зростає.

6. Дослідження електричних параметрів експериментального зразка термоелектричного генератора дозволили встановити залежності потужності та ефективності термоелектричного перетворення від режимів роботи двигуна. Отримані значення сили електричного струму та напруги дозволяють використовувати термоелектричний генератор даної конструкції у системі електропостачання автомобіля. При цьому, ступінь досягнення номінальної потужності термоелектричного генератора, встановленої заводом-виробником термоелектричних модулів, обмежено коефіцієнтом корисної дії теплообмінника, який за результатами досліджень не перевищує 70 %, що є характерною особливістю даної конструкції термоелектричного генератора.

7. На основі проведених експериментальних досліджень перевірено адекватність окремих поліноміальних залежностей математичної моделі. Адекватність моделювання також підтверджена порівнянням результатів моделювання витрати палива з даними заводу-виробника автомобіля. За результатами прогнозування витрати палива і викидів шкідливих речовин автомобілем Scoda Fabia з двигуном VW BBY у їздовому циклі відповідно до Правил ЄЕК ООН № 83-05 встановлено, що використання розробленої системи додавання водневмісного газу з термоелектричним генератором дозволяє знизити сумарну витрату палива на 1,9 % та викиди окремих шкідливих речовин на 1,2-3,6 % при додаванні водневмісного газу у кількості 3 л/хв та майже лінійним поліпшенням цих показників при збільшенні величини додавання водневмісного газу. За результатами впливу величини додавання водневмісного газу на кількість накопиченої у додатковій батареї електричної енергії встановлено, що ця величина майже лінійно знижується при збільшенні обсягу виробництва водневмісного газу системою, що унеможливорює її ефективне використання в умовах експлуатації.

8. Для забезпечення можливості використання системи в умовах експлуатації визначено максимально можливу доцільну номінальну потужність термоелектричного генератора з урахуванням його коефіцієнту корисної дії, яка складає 500 Вт. З урахуванням практичної можливості реалізації визначеної максимально можливої номінальної потужності досліджено ефективність використання термоелектричного генератора з 16-ма та 24-ма термоелектричними модулями. На основі проведених досліджень розроблено рекомендації щодо вибору доцільних значень параметрів системи додавання водневмісного газу з

термоелектричним генератором даної конструкції. Зокрема, визначено, що для ефективного використання добавки водневмісного газу до повітряного заряду автомобільного бензинового двигуна VW BBU 4C 7,65/7,56 у діапазоні навантажень у їздовому циклі відповідно до Правил ЄЕК ООН № 83-05 необхідне використання генератора водневмісного газу продуктивністю 3 л/хв та термоелектричного генератора номінальної потужності 456 Вт. Це забезпечить ступінь зарядженості додаткової батареї до 96 % та встановлені вище показники паливної економічності та екологічності автомобіля в умовах експлуатації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав (у іноземному фаховому науковому виданні, що індексується у науково-метричній базі Scopus, віднесеному до третього квартилу Q3):

1. Mykola Tsiuman, Vasyl Mateichyk, Mirosław Smieszek, Ivan Sadovnyk, Roman Artemenko, Yevheniia Tsiuman, Igor Gritsuk, Andrii Koval. The System for Adding Hydrogen-containing Gas to the Air Charge of the Spark Ignition Engine Using a Thermoelectric Generator. SAE Technical Paper 2020-01-2142, 2020, doi:<https://doi.org/10.4271/2020-01-2142>.

Публікації у фахових виданнях (розділах іноземних монографій):

2. Цюман М.П., Бориско С.Г., Артеменко Р.В., Садовник І.І. Особливості оцінювання ефективності термоелектричної утилізації теплової енергії двигуна внутрішнього згоряння. Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 9. - Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2017. – С. 109–116.

3. Цюман М.П., Матейчик В.П., Артеменко Р.В., Садовник І.І. Аналіз впливу міських режимів руху транспортного засобу на витрату палива і шкідливі викиди. Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 13. - Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2018. – С. 95–102.

4. Цюман Микола, Гришук Олександр, Артеменко Роман, Садовник Іван, Бориско Сергій. Експериментальне дослідження термоелектричного генератора для утилізації теплової енергії двигуна внутрішнього згоряння. Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 17. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2019. – С. 107–114.

Публікації апробаційного характеру:

5. Цюман М.П., Р.В. Артеменко, І.І. Садовник. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників ДВЗ термоелектричною утилізацією теплових втрат. LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К.: НТУ, 2017. – С. 42.

6. Gritsuk Igor, Mateichyk Vasyl, Simonenko Roman, Volkov Yurii, Sadovnik Ivan. The formation of information system to study the vehicular heating with the heating system and thermal accumulator in pre-start and after-start heating processes. Матеріали 8-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки

на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування», 28-29 вересня 2017 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017. С. 57-61.

7. Цюман Н.П., И.А.Шевчук, И.И.Садовник. Мониторинг экологической безопасности транспортных средств на основе их параметров технического состояния в эксплуатационных условиях. Материалы 15-ой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике»: в 4 томах. – Минск: БНТУ, 2017. – т.2. – С. 104–105, 129.

8. Цюман М.П., Р.В. Артеменко, І.І. Садовник. Поліпшення паливної економічності ДВЗ термоелектричною утилізацією теплоти в режимах холостого ходу та малих навантажень. LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Тези доповідей. – К.: НТУ, 2018. – С. 38.

9. Цюман М.П., Артеменко Р.В., Бориско С.Г., Садовник І.І. Особливості застосування термоелектричної утилізації теплової енергії двигуна внутрішнього згоряння. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту», Конференція проводиться щорічно з нагоди Дня автомобіліста і дорожника, 16–19 жовтня 2018 р. (Посвідчення УкрІНТЕІ від 26 грудня 2017 року № 777). – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2018. С. 238-240.

10. Цюман Н.П., Артеменко Р.В., Садовник И.И. Повышение топливной экономичности и экологических показателей ДВС путем термоэлектрической утилизации теплоты отработавших газов. Материалы 16-ой Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике»: в 4 томах. – Минск: БНТУ, 2018. – т.2. – С. 88.

11. Цюман М.П., Р.В. Артеменко, І.І. Садовник. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобільної енергоустановки з використанням системи термоелектричного генерування водневмісного газу. LXXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, присвячена 75-річчю з дня заснування університету. Тези доповідей. – К.: НТУ, 2019. – С. 38.

12. Tsiuman Mykola, Mateichyk Vasyl, Smieszek Mirosław, Sadovnyk Ivan, Artemenko Roman, Tsiuman Yevheniia. Investigation of efficiency of the system for adding hydrogen-containing gas to the air charge of the vehicular engine using a thermoelectric generator. International Symposium on Electric Aviation and Autonomous Systems, ISEAS20, International Symposium on Aircraft Technology, MRO and Operations, ISATECH20, International Course on Unmanned Aerial Vehicle, ICUAV20, Kyiv, Ukraine, September 22-24, 2020, Proceedings, P. 199-202.

Свідоцтва на інтелектуальну власність:

13. Програмний інформаційний комплекс для прогнозування параметрів стану двигуна і ТЗ в умовах експлуатації. Грицук І.В., Волков В.П., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В., Павленко В.М., Вербовський В.С., Грицук А.І., Вербовська В.В., Грицук В.Ю., Матейчик В.П., Цюман М.П., Шевчук І.О., Артеменко Р.В., Бориско С.Г., Садовник І.І., Коломієць С.В. Свідоцтво про внесення відомостей до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВР № 01884 Україна. Зареєстр. 06.04.2017.

14. Програмний комплекс для дослідження паливної економічності та екологічних показників двигуна нерухомого транспортного засобу з урахуванням процесів прогріву в процесі руху. Грицук І.В., Волков В.П., Матейчик В.П., Цюман М.П., Шевчук І.О., Артеменко Р.В., Бориско С.Г., Садовник І.І., Лук'янченко Ю.О., Краснокутська З.І. Свідоцтво про внесення відомостей до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВР № 01883 Україна. Зареєстр. 06.04.2017.

15. Програмний комплекс для дослідження паливної економічності та екологічних показників двигуна нерухомого транспортного засобу з урахуванням процесів прогріву. Грицук І.В., Волков В.П., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В., Павленко В.М., Вербовський В.С., Грицук А.І., Вербовська В.В., Грицук В.Ю., Матейчик В.П., Цюман М.П., Шевчук І.О., Артеменко Р.В., Бориско С.Г., Садовник І.І., Коломієць С.В., Краснокутська З.І. Свідоцтво про внесення відомостей до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВР № 01882 Україна. Зареєстр. 06.04.2017.

16. Програмний інформаційний комплекс для оцінювання способів забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів з можливостями прогнозування параметрів їх технічного стану в умовах експлуатації. Грицук І.В., Волков В.П., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В., Павленко В.М., Вербовський В.С., Грицук А.І., Вербовська В.В., Грицук В.Ю., Матейчик В.П., Цюман М.П., Шевчук І.О., Артеменко Р.В., Бориско С.Г., Садовник І.І., Лук'янченко Ю.О., Краснокутська З.І. Свідоцтво про внесення відомостей до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВР № 01875 Україна. Зареєстр. 06.04.2017.

АНОТАЦІЯ

Садовник І.І. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля з бензиновим двигуном додаванням водневмісного газу з використанням рекуперованої теплової енергії. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 — експлуатація та ремонт засобів транспорту. — Національний транспортний університет, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2021.

Дисертація присвячена питанням поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобілів.

Розроблено систему додавання водневмісного газу до повітряного заряду бензинового двигуна з використанням термоелектричного перетворення теплової енергії відпрацьованих газів.

Розроблено алгоритм математичного моделювання витрати палива та викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами в процесі руху автомобіля в їздовому циклі з різною величиною добавки водневмісного газу.

Проведено стендові експериментальні дослідження двигуна VW BBU з використанням розробленої системи додавання водневмісного газу. За результатами досліджень встановлено вплив використаної системи на індикаторні, ефективні та

екологічні показники двигуна, оцінено ефективність генерування електричної енергії термоелектричним генератором.

Здійснено прогнозування витрати палива і викидів шкідливих речовин автомобілем Scoda Fabia з двигуном VW BBY у їздовому циклі відповідно до Правил ЄЕК ООН № 83-05.

Для використання розробленої системи в умовах експлуатації запропоновано доцільні значення її параметрів, зокрема продуктивності генератора водневмісного газу та номінальної потужності термоелектричного генератора.

Ключові слова: теплова енергія, водневмісний газ, термоелектричний генератор, рекуперація, паливна економічність, екологічні показники, бензиновий двигун, автомобіль, їздовий цикл.

АННОТАЦИЯ

Садовник И.И. Улучшение топливной экономичности и экологических показателей автомобиля с бензиновым двигателем добавлением водородсодержащего газа с использованием рекуперированной тепловой энергии. — Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 — эксплуатация и ремонт средств транспорта. — Национальный транспортный университет, Министерство образования и науки Украины, Киев, 2021.

Диссертация посвящена вопросам улучшения топливной экономичности и экологических показателей автомобилей. Достижение цели улучшения обеспечивается использованием добавки водородсодержащего газа к воздушному заряду двигателя. С целью обеспечения производства водородсодержащего газа используется рекуперация тепловой энергии отработавших газов на основе термоэлектрического генератора.

Разработана система добавления водородсодержащего газа к воздушному заряду бензинового двигателя с использованием термоэлектрического преобразования тепловой энергии отработавших газов, которая содержит генератор водородсодержащего газа для его производства и подачи во впускную систему двигателя, дополнительную аккумуляторную батарею для обеспечения энергоснабжения генератора газа, термоэлектрический генератор в выпускной системе для обеспечения подзарядки дополнительной батареи путем рекуперации тепловой энергии отработавших газов в электрическую.

Разработан алгоритм математического моделирования, который содержит логическую последовательность операций для определения расхода топлива и выбросов вредных веществ с отработавшими газами в процессе движения автомобиля в ездовом цикле с различной величиной добавки водородсодержащего газа.

Проведено стендовые экспериментальные исследования двигателя VW BBY с использованием разработанной системы добавления водородсодержащего газа. По результатам исследований установлено влияние использованной системы на индикаторные, эффективные и экологические показатели двигателя. Установлено, что добавка водородсодержащего газа позволяет улучшить расход топлива на 2,4-3,8% в режимах малых нагрузок двигателя, уменьшить концентрации CO , C_mH_n и CO_2 при незначительном росте концентрации NO_x .

Исследована эффективность генерирования электрической энергии термоэлектрическим генератором. Полученные значения силы тока и напряжения

позволяют использовать термоэлектрический генератор данной конструкции в системе электроснабжения автомобиля. Коэффициент полезного действия разработанного теплообменника составляет до 70%.

По результатам прогнозирования расхода топлива и выбросов вредных веществ автомобилем Scoda Fabia с двигателем VW BBY в ездовом цикле в соответствии с Правилами ЕЭК ООН № 83-05 установлено, что использование разработанной системы добавления водородсодержащего газа с термоэлектрическим генератором позволяет снизить суммарный расход топлива на 1,9% и выбросы отдельных вредных веществ на 1,2-3,6% при добавлении водородсодержащего газа в количестве 3 л/мин.

Для использования разработанной системы в условиях эксплуатации для достижения указанных пределов улучшения показателей предлагается установить следующие значения параметров: производительность генератора водородсодержащего газа 3 л/мин, номинальная мощность термоэлектрического генератора 456 Вт.

Ключевые слова: тепловая энергия, водородсодержащий газ, термоэлектрический генератор, рекуперация, топливная экономичность, экологические показатели, бензиновый двигатель, автомобиль, ездовой цикл.

ABSTRACT

Sadovnyk I.I. Improving fuel economy and environmental performance of a car equipped with a gasoline engine by adding hydrogen-containing gas using recovered heat energy. - Manuscript.

The thesis for candidate of technical sciences degree, specialty 05.22.20 - operation and repair of vehicles. - National Transport University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to the issues of improving fuel efficiency and environmental performance of cars.

A system for adding hydrogen-containing gas to the air charge of a gasoline engine using thermoelectric conversion of exhaust gases heat energy has been developed.

An algorithm for mathematical modeling of fuel consumption and harmful emissions of the car in the driving cycle with different values of the hydrogen-containing gas addition has been developed.

Bench experimental researches of the VW BBY engine with use of the developed system of hydrogen-containing gas addition are carried out. According to the research results, the influence of the used system on the indicated, effective and environmental performance of the engine is established. The efficiency of electric energy generation by the thermoelectric generator is estimated.

Fuel consumption and emissions are forecasted for Scoda Fabia car with VW BBY engine in the driving cycle in accordance with UNECE Regulation № 83-05.

For use of the developed system in the operating conditions, expedient values of its parameters, in particular hydrogen-containing gas generator productivity and thermoelectric generator nominal power are offered.

Key words: heat energy, hydrogen-containing gas, thermoelectric generator, recuperation, fuel economy, environmental performance, gasoline engine, car, driving cycle.