

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

СИМОНЕНКО РОМАН ВІКТОРОВИЧ



УДК 629.331:504.064.36

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОЛІСНИХ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ
ТЕЛЕМАТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному транспортному університеті (НТУ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Матейчик Василь Петрович,
Національний транспортний університет, декан
автомеханічного факультету.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Біліченко Віктор Вікторович,
Вінницький національний технічний
університет, ректор;

доктор технічних наук, доцент
Сараєв Олексій Вікторович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, декан автомобільного
факультету;

доктор технічних наук, професор,
Аулін Віктор Васильович,
Центральноукраїнський національний технічний
університет, професор кафедри експлуатації та
ремонту машин.

Захист відбудеться «28» вересня 2021р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 209.

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

Автореферат розісланий «26» серпня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.В.Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток телекомунікаційних та інформаційних (телематичних) технологій на автомобільному транспорті створює нові можливості для підвищення ефективності експлуатації сучасних колісних транспортних засобів (КТЗ) у визначених умовах інфраструктурного середовища. Ефективність експлуатації КТЗ визначається питомими витратами енергії та викидів на одиницю транспортної роботи і залежить від категорії КТЗ, типу енергоустановки (ЕУ), технічного стану та експлуатаційних режимів руху.

Телематичні технології на автотранспорті служать для отримання й аналізу інформації про КТЗ в умовах інфраструктурного середовища з метою підвищення їх безпеки та експлуатаційної ефективності на основі управління технічним станом та режимами руху.

Інтелектуальні телематичні системи, які реалізують різні рівні автономності руху, розглядаються як ключовий компонент розумних КТЗ. Вони поліпшують безпеку руху та техніко-експлуатаційні показники КТЗ, полегшують роботу оператора, зменшуючи його помилки. Щоб реалізувати всі переваги таких систем до дорожньої та телекомунікаційної інфраструктури необхідне їх постійне під'єднання до мережі та реалізації комунікаційних технологій V2N, V2V, V2I, V2P.

Високі техніко-експлуатаційні показники сучасних і перспективних КТЗ можуть бути досягнуті на основі безперервного розвитку телематичного забезпечення як самих КТЗ, так й інфраструктурного середовища.

Тому підвищення ефективності експлуатації як існуючих КТЗ, так і КТЗ з новим рівнем розвитку, на основі інтелектуальних телематичних технологій, є важливою науково-технічною проблемою, актуальність якої з кожним роком зростає.

Аналіз проведених досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених засвідчив, що на цей час відсутні комплексні дослідження системи «КТЗ – Інфраструктура» (КТЗ-І), які з системних позицій дозволили б розробити наукові методи та інженерні методики оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ з сучасними енергоустановками за умови інтелектуального управління технічним станом та режимами руху в заданих умовах інфраструктурного середовища.

Розробці методів оцінювання та способів підвищення ефективності експлуатації КТЗ з сучасними енергоустановками, на основі інтелектуальних телематичних технологій в системі КТЗ-І, присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалась згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри екології та безпеки життєдіяльності й кафедри двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету, планами науково-дослідних робіт ДП "Державний автотранспортний науково-дослідний та проектний інститут": "Покращення показників дорожніх транспортних засобів удосконаленням двигунів та їх систем", номер держреєстрації 0107U002832 (2007 р.); "Розроблення технології визначення масових викидів забруднюючих речовин колісними транспортними засобами на основі методу відбору проб постійного об'єму (CVS - метод).", номер держреєстрації 0112U006924 та 0112U006924 (2012, 2013 рр.);

"Розробка інформаційної системи моніторингу транспортних засобів в умовах експлуатації", номер держреєстрації 0117U007488 (2017 р.); "Дослідження системи цифрової тахографії та розроблення методичних рекомендацій "Інформаційно-довідковий посібник користувача картки для цифрових тахографів", номер держреєстрації 0117U004990 (2017 р.); "Прикладні аспекти застосування сучасних інноваційних підходів при розробці методів та способів підвищення рівня екологічної безпеки та безпеки людини", номер держреєстрації 0118U001109; "Розробка і дослідження інформаційної системи моніторингу транспортних засобів на основі бортового комплексу ITS", номер держреєстрації 0119U101453 (2019 р.); "Розробка і дослідження теплового акумулятора фазового переходу на транспортному засобі, працюючому на зрідженому газовому паливі", номер держреєстрації 0119U101547 (2019 р.).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методів оцінювання та способів підвищення ефективності експлуатації КТЗ з сучасними ЕУ за критеріями максимальної продуктивності при мінімальних питомих витратах енергії та викидах шляхом інтелектуального управління технічним станом та режимами руху КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища на основі використання інтелектуальних телематичних технологій в системі КТЗ-І.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

1. Обґрунтування використання сучасних телематичних технологій для підвищення ефективності експлуатації КТЗ.
2. Розробка загальної методології оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ з сучасними ЕУ в системі КТЗ-І.
3. Розробка інформаційної системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора, характеристик інфраструктурного середовища, інтелектуальних алгоритмів управління технічним станом та режимами руху для досягнення заданих критеріїв ефективності експлуатації КТЗ.
4. Розробка математичних моделей окремих елементів і підсистем системи КТЗ-І для дослідження впливу параметрів управління технічним станом та режимами руху КТЗ з сучасними ЕУ на продуктивність, витрату енергії та викиди КТЗ для досягнення заданих критеріїв ефективності експлуатації КТЗ в умовах інфраструктурного середовища.
5. Експериментальне дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ з сучасними ЕУ в окремих режимах, їздових циклах та на реальних маршрутах з використанням телематичних засобів (OBD тест системи, трекери, тахографи тощо) та перевірка адекватності математичних моделей.
6. Дослідження на математичних моделях впливу параметрів управління технічним станом та режимами руху КТЗ з сучасними ЕУ на динамічні показники, витрату енергії і викиди КТЗ та визначення їх раціональних значень для формування інтелектуальних алгоритмів управління режимами руху в заданих умовах інфраструктурного середовища.
7. Оцінка ефективності запропонованих алгоритмів інтелектуального управління технічним станом КТЗ в окремих режимах руху, в стандартних їздових циклах і на реальних маршрутах та розробка рекомендацій щодо застосування запропонованих алгоритмів для підвищення ефективності експлуатації КТЗ.

Об'єктом дослідження є система КТЗ-I, яка описує процеси руху КТЗ з сучасними ЕУ в заданих умовах інфраструктурного середовища, вихідними результатами яких є продуктивність КТЗ, витрати енергії та викиди на одиницю пробігу чи транспортної роботи, визначає значення цільових показників ефективності експлуатації та параметри управління процесами на основі актуальної інформації внутрішньої системи діагностування технічного стану, режимів руху КТЗ та інформації зовнішнього інфраструктурного середовища про реальні експлуатаційні умови.

Предметом дослідження є методи оцінювання та способи підвищення ефективності експлуатації КТЗ з сучасними ЕУ в системі КТЗ-I з різним рівнем телематичного забезпечення її підсистем на основі алгоритмів інтелектуального управління технічним станом та режимами руху.

Методи дослідження. Розробка наукових основ підвищення ефективності експлуатації КТЗ з використанням інтелектуальних телематичних технологій ґрунтувалась на методах системного аналізу, які визначили структуру та логічну організацію досліджень та функціональну модель системи КТЗ-I, яка описує її основні процеси, зворотні зв'язки та енергетичні й інформаційні потоки, які забезпечують досягнення цільових показників функціонування системи.

З використанням методу морфологічного аналізу проведено систематизацію телематичного забезпечення системи КТЗ-I за морфологічними ознаками її підсистем, варіантів їх реалізації, синтезовано існуючі та перспективні морфологічні структури системи з різним рівнем телематичного забезпечення.

Для отримання й аналізу інформації внутрішньої системи діагностування технічного стану та зовнішнього інфраструктурного середовища застосовувались сучасні телекомунікаційні та інформаційні технології, на основі яких формувались інтелектуальні алгоритми управління технічним станом та режимами руху КТЗ.

Оцінка способів підвищення експлуатаційної ефективності проводилась з використанням методів математичного моделювання та експертних оцінок за окремими, груповими та комплексними критеріями.

Математичні моделі системи враховували теоретичні та емпіричні залежності теорії ДВЗ, автомобіля та вимоги щодо їх універсальності. Перевірка адекватності математичних моделей виконувалась шляхом порівняння розрахункових результатів з експериментальними даними.

В експериментальних дослідженнях використовувались сучасні прилади для визначення динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ в окремих режимах, їздових циклах та на реальних маршрутах, телематичні засоби (OBD тест системи, трекери, тахографи тощо) та інформаційно-аналітичні системи для аналізу отриманої інформації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

- *вперше* з системних позицій розроблено загальну методологію оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ з сучасними ЕУ, в основі якої лежать функціональні, інформаційні та математичні моделі системи КТЗ-I, що дозволяють формувати алгоритми управління технічним станом та режимами руху КТЗ для досягнення цільових показників продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища;

- *вперше* запропоновано метод систематизації телематичного забезпечення системи КТЗ-І, який дозволяє аналізувати існуючі та формувати нові морфологічні структури системи, які розглядаються як способи підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ з удосконаленням телематичним забезпеченням основних функціональних елементів;

- *вперше* запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-І та її функціональних елементів, який враховує рівень розвитку варіантів реалізації основних морфологічних ознак телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктури;

- *вперше* отримано закономірності зміни динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ в експлуатаційних режимах в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-І та її функціональних елементів, а також від реалізації запропонованих алгоритмів управління технічним станом та режимами руху в заданих умовах інфраструктурного середовища;

- *удосконалено* комплекс окремих критеріїв оцінювання динамічних, економічних та екологічних властивостей КТЗ та інтегральних критеріїв експлуатаційної ефективності КТЗ в системі КТЗ-І, який на відміну від існуючих, дає можливість оцінити основні експлуатаційні властивості КТЗ по відношенню до конкретного інфраструктурного середовища, що підвищує цінність такої оцінки;

- *удосконалено* математичні моделі основних процесів системи КТЗ-І, які реалізують алгоритм управління тепловою підготовкою підсистем енергоустановки (двигуна та нейтралізатора) в режимі прогріву й алгоритми управління режимами руху, визначають динамічні, економічні та екологічні показники КТЗ в окремих режимах, в їздовому циклі та на експлуатаційному маршруті;

набули подальшого розвитку методи побудови інформаційної моделі системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора та характеристик інфраструктурного середовища в системі КТЗ-І, які дозволили сформувати інтелектуальні алгоритми управління технічним станом та режимами руху для досягнення заданих критеріїв ефективності експлуатації КТЗ.

Практичне значення одержаних результатів роботи складають:

- морфологічні структури телематичного забезпечення системи КТЗ-І, які поєднують варіанти різного рівня розвитку 17 морфологічних ознак функціональних елементів «КТЗ» та «Інфраструктура»;

- алгоритми управління тепловою підготовкою підсистем ЕУ (двигуна та нейтралізатора) в режимі прогріву й алгоритми управління режимами руху КТЗ в їздовому циклі та на експлуатаційному маршруті;

- алгоритм оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-І та її функціональних елементів, реалізації запропонованих алгоритмів управління технічним станом та режимами руху в заданих умовах інфраструктурного середовища;

- програмна реалізація математичних моделей системи КТЗ-І для визначення динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ в окремих режимах, в їздовому циклі та на експлуатаційному маршруті;

- кількісні значення динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ в експлуатаційних режимах в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-I та її функціональних елементів;

- кількісні значення окремих та інтегральних критеріїв оцінки експлуатаційної ефективності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища;

- рекомендації щодо забезпечення цільових показників продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища.

Результати дисертаційної роботи прийняті до використання в Директораті цифрової інфраструктури на транспорті Міністерства інфраструктури України, ПРАТ «Західукртранс», ТОВ «АСКО-ЕКСПЕДИЦІЯ», ТОВ «АТП ЕЛІТ», ТОВ «Автобансервіс», ТОВ АТК «БОСС», ТОВ «Ежіс Україна».

Матеріали роботи використовуються у навчальному процесі НТУ при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальностями 274 – Автомобільний транспорт, 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові положення, розробки і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно і виконані в НТУ.

Основні результати досліджень, що увійшли до дисертаційної роботи, отримані автором особисто та викладено в роботах [1-45]. Роботи [5, 6] опубліковані без співавторів. Особистий внесок дисертанта в роботах, опублікованих у співавторстві, полягає в наступному: розроблено загальну методологію оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ з сучасними ЕУ, в основі якої лежать функціональні, інформаційні та математичні моделі системи КТЗ-I [3, 8, 9, 11, 12, 20, 22, 23, 25, 26, 29, 31, 39, 40, 44, 45], сформовано алгоритми управління технічним станом та режимами руху КТЗ для досягнення цільових показників продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища [9, 13-21, 26, 27, 44], запропоновано метод систематизації телематичного забезпечення системи КТЗ-I [4-6, 13, 23, 24, 30, 31, 36, 42, 43], запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-I та її функціональних елементів [13, 22, 27, 29, 34, 37], розроблено комплекс окремих критеріїв оцінювання динамічних, економічних та екологічних властивостей КТЗ та інтегральних критеріїв оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в системі КТЗ-I [1, 7, 10, 14-21, 26, 38, 41], отримано закономірності зміни динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ в експлуатаційних режимах в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-I та її функціональних елементів [1, 2, 7, 10, 14-21, 26, 32, 33, 35], удосконалено математичні моделі основних процесів системи КТЗ-I, які реалізують алгоритм управління тепловою підготовкою підсистем енергоустановки (двигуна та нейтралізатора) в режимі прогріву [2, 7, 10-12, 28, 32, 33, 35], удосконалено математичні моделі системи КТЗ-I для визначення динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ в окремих режимах, в їздовому циклі та на експлуатаційному маршруті [2, 12], запропоновано методи побудови інформаційної моделі системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора та характеристик інфраструктурного середовища в системі КТЗ-I [3-6, 8, 11, 13, 24, 25, 27, 29, 30, 31, 37, 39, 42].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на: міжнародній науково-практичній конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» (Харків, ХНАДУ, 2017 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» (Херсон, ХДМА, 2018 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» (Харків, ХНАДУ, 2018 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» (Херсон, ХДМА, 2019 р.), II міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (Київ, НУБіП, 2019 р.), 24 Словацько-Польській міжнародній науковій конференції по машинному моделюванню і симуляції «Materials Science and Engineering» (Липтовски Ян, Словаччина, 2020 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Автомобиле- и тракторостроение» (Мінськ, БНТУ, 2021 р.), науково-практичній конференції «Безпека та екологія на дорожньому транспорті» (Київ, ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2020 р.), науково-практичній конференції «Marine Power Plants and Operation 2021» (Одеса, 2021 р.), 15 Міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків (Львів, 2021 р.), LXXVII науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (Київ, НТУ, 2021 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи висвітлені у 45 опублікованих наукових працях, у тому числі: 3 монографії, 2 авторських свідоцтва, 2 патенти, 26 публікацій у наукових фахових виданнях України та інших держав (з них 5 публікацій, що включені до міжнародних наукометричних баз, у тому числі 4 публікації у виданнях, що індексуються у Scopus), 12 тез у збірниках доповідей наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 374 сторінки, включаючи 259 сторінок основного тексту, 21 таблицю, 123 рисунки, список використаних джерел з 254 найменувань та 8 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, встановлено її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, надано інформацію щодо особистого внеску здобувача та апробацію результатів.

У **першому** розділі обґрунтовано актуальність проблеми підвищення ефективності використання КТЗ в умовах експлуатації, проаналізовано характеристики, нормативи, вимоги й обмеження експлуатаційної ефективності транспортних засобів, представлено сучасну структуру телематичних систем і технологій на автотранспорті, проаналізовано існуючі методи оцінювання.

Також визначено загальні принципи побудови інформаційних систем моніторингу та основні стратегічні напрямки підвищення експлуатаційної ефективності транспортних засобів.

Аналіз робіт вітчизняних і закордонних вчених у цій сфері показав, що об'єктами досліджень виступають окремі елементи та підсистеми транспортного комплексу: окремі КТЗ та їх ЕУ, транспортні підприємства, транспортні потоки. Слід відзначити вагомий внесок колективу авторів ряду монографій та навчальних посібників (М.Ф. Дмитриченко, Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Сахно, А.П. Солтус, В.П. Матейчик, В.П. Волков, І.В. Грицук, В.В. Біліченко, О.В. Сараєв, С.І. Криштопа, В.Д. Мигаль, О.Я. Ніконов, В.В. Аулін, М. Smieszek, I. Kuric, M. Saga та інші) в розвиток сучасних методів оцінювання техніко-експлуатаційних властивостей КТЗ та способів поліпшення їх безпеки, енергоефективності та екологічних показників. Розроблено цілий ряд інформаційно-аналітичних систем окремих об'єктів досліджень.

Існуючий рівень використання автомобільних транспортних засобів, високий рівень їх небезпеки, значний вплив на використання енергії та кліматичні зміни, тенденції вітчизняного і світового законодавства в сфері транспорту та змін клімату свідчать про актуальність проблеми підвищення безпечності, енергетичної та екологічної ефективності КТЗ.

Аналіз технічних нормативних документів у сфері експлуатації автомобільного транспорту показав, що вітчизняні регламенти встановлюють в основному вимоги до організації та здійснення ремонтно-обслуговуючих операцій щодо КТЗ в процесі їх експлуатації за принципом «підтримувати те, що є», а забезпечення експлуатаційної ефективності у цьому випадку можливе за умов добросовісного та якісного виконання технічного обслуговування і ремонту КТЗ. Разом з тим, європейські технічні регламенти передбачають використання різних елементів інтелектуальних транспортних систем, що, окрім контролю різних параметрів експлуатації КТЗ, забезпечують підвищення окремих показників експлуатації КТЗ.

Розвиток комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій обумовлює використання на автомобільному транспорті інтелектуальні транспортні системи, які дозволяють реалізовувати сукупність взаємопов'язаних функцій по управлінню транспортним засобами та дорожнім рухом, надавати інформаційні послуги користувачам транспорту, підвищувати рівень їх безпеки. Основою використання інтелектуальних транспортних систем є геоінформаційні, навігаційні та бортові системи управління КТЗ, які дозволяють розглядати КТЗ як активний «розумний» елемент системи.

Серед методів оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ найбільш відомими є методи визначення середньої технічної швидкості і витрати палива. При цьому визначаються додатково: продуктивність перевезень пасажирів чи вантажів, енергоефективність та екологічність. Основним недоліком існуючих методів оцінювання експлуатаційної ефективності є їх висока інерційність та неможливість враховувати дійсні поточні дорожні, транспортні та інфраструктурні умови для управління експлуатаційною ефективністю КТЗ.

Інфраструктурне середовище є невід'ємною складовою процесу ефективної експлуатації КТЗ. Для забезпечення ефективного моніторингу, контролю та управління потоками КТЗ інфраструктурне середовище повинно мати відповідний рівень інформаційного забезпечення, що дозволяє здійснювати поточне вимірювання параметрів руху КТЗ з боку інфраструктури. Однак, існуючі технології інформаційного забезпечення інфраструктурного середовища є роз'єднаними з системами, що застосовуються в складі бортових комплексів КТЗ. Це значно обмежує можливості обміну даними між обома елементами процесу експлуатації і не дозволяє повною мірою автоматизувати та інтелектуалізувати процеси управління експлуатаційною ефективністю КТЗ.

На сьогодні основними стратегічними напрямками підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ є подальше поліпшення динамічних, паливно-економічних та екологічних властивостей існуючих і нових КТЗ у поєднанні з ефективним впровадженням інтелектуальних телематичних систем в конструкцію КТЗ та в інфраструктуру, де ці КТЗ експлуатуються.

В **другому** розділі представлено функціональну та морфологічну моделі системи КТЗ-І, що дозволяють формувати алгоритми управління технічним станом та режимами руху КТЗ для досягнення цільових показників продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ у експлуатаційних умовах.

Ефективність використання того чи іншого КТЗ в експлуатаційних умовах суттєво залежить від рівня реалізації основних морфологічних ознак функціональних елементів системи КТЗ-І.

Управління експлуатаційною ефективністю КТЗ передбачає керовану зміну, відповідно до умов експлуатації, вхідних параметрів основних процесів, що відбуваються під час функціонування КТЗ, на основі закладених у виконавчі пристрої управління цими вхідними параметрами цільових функцій, які враховують визначені критерії ефективності.

Для комплексного врахування всіх факторів, що впливають на управління експлуатаційною ефективністю КТЗ застосовується системний підхід. Реалізація структури системного дослідження щодо підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ передбачає визначення функціональної схеми, морфологічної матриці та морфологічної структури системи КТЗ-І, критеріїв оцінювання та алгоритми управління КТЗ.

Система КТЗ-І, як об'єкт дослідження, описує процеси руху КТЗ з сучасними ЕУ в заданих умовах інфраструктурного середовища, вихідними результатами яких є продуктивність КТЗ, витрати енергії та викиди на одиницю пробігу чи транспортної роботи, визначає цільові показники ефективності експлуатації та параметри управління процесами (зворотні зв'язки) на основі моніторингу технічного стану та режимів руху КТЗ, а також інформації зовнішнього інфраструктурного середовища.

Представлена функціональна схема системи КТЗ-І (рис. 1) об'єднує чотири основних процеси: перетворення вихідної енергії у механічну (рівень А, ЕУ), передачу механічної енергії до коліс КТЗ (рівень С, трансмісія), перетворення обертального руху коліс в поступальний рух КТЗ (рівень Е, ходова частина), зміну режимів та напрямків руху, відповідно до заданого закону руху, в результаті взаємодії КТЗ з транспортною інфраструктурою (рівень G, інфраструктурне середовище).

Зовнішнім середовищем, масовими, енергетичними та інформаційними зв'язками, ці процеси пов'язані між собою.

Ефективність функціонування системи залежить від рівня телематичного забезпечення її основних функціональних елементів, яке дозволяє отримувати й аналізувати інформацію про технічний стан та режими руху КТЗ, управляти ними для досягнення максимальної продуктивності при мінімальних питомих витратах енергії та викидах в заданих умовах інфраструктурного середовища.

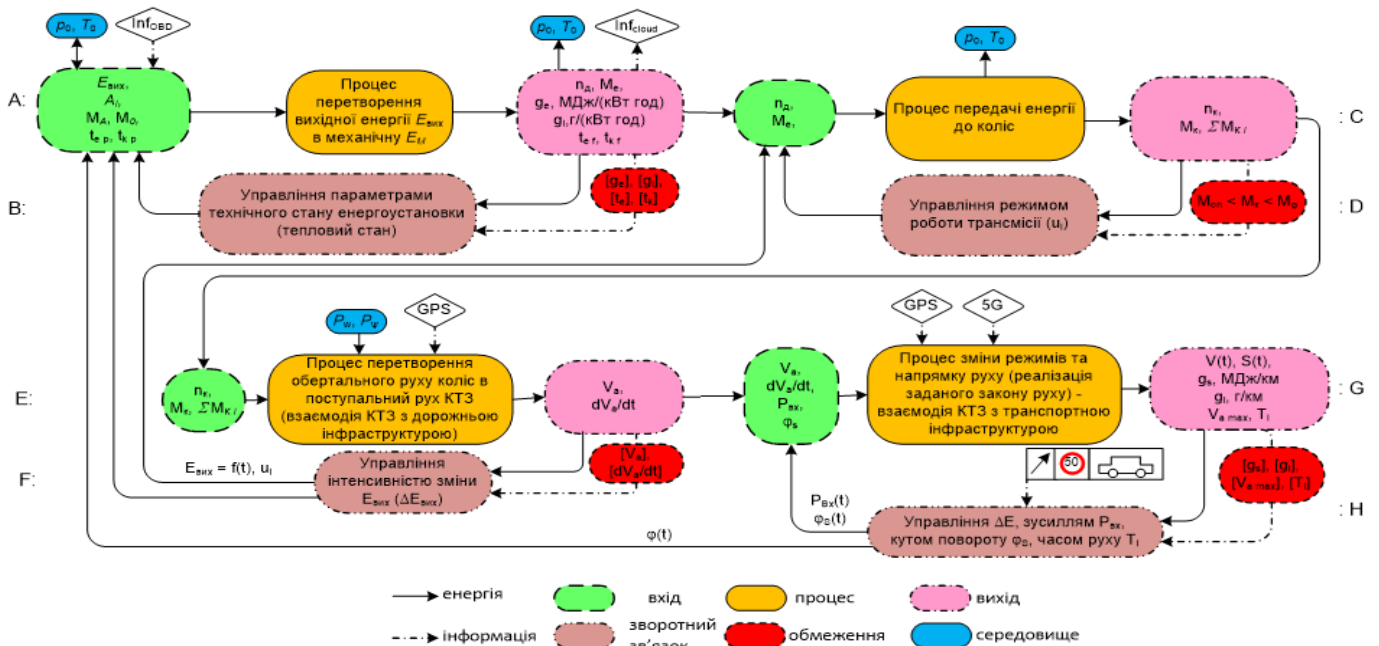


Рисунок 1 – Функціональна схема системи КТЗ-I

Рівень телематичного забезпечення функціонального елемента «КТЗ» характеризується такими морфологічними ознаками, як наявність засобів ідентифікації технічних характеристик КТЗ та його підсистем, безперервного моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, контролю поточної швидкості КТЗ, витрати енергії та забруднюючих викидів, просторової ідентифікації режимів руху КТЗ, контролю характеристик оператора, контролю параметрів внутрішнього і зовнішнього середовища, наявністю сучасних телекомунікаційних технологій та зв'язку з іншими елементами системи та рівнем автоматизації управління рухом КТЗ

Рівень телематичного забезпечення функціонального елемента «Інфраструктура» характеризується: наявністю засобів ідентифікації зовнішніх метеорологічних умов, технічних характеристик дороги, КТЗ та швидкості їх руху; засобів контролю складу транспортного потоку та його інтенсивності; рівнем організації дорожнього руху, інформаційного забезпечення учасників руху, системи телекомунікації; наявністю телекомунікаційних технологій з учасниками руху.

В системі можуть бути відсутні засоби для реалізації тієї чи іншої морфологічної ознаки або наявні варіанти її реалізації найсучаснішими засобами.

Поєднання окремих варіантів усіх морфологічних ознак обох функціональних елементів формує морфологічну структуру телематичного забезпечення досліджуваної системи КТЗ-I, яка загалом визначає ефективність її функціонування.

Для оцінювання конкретної морфологічної структури запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-I та її функціональних елементів, який враховує рівень розвитку варіантів реалізації основних морфологічних ознак телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктури.

Метод ґрунтується на принципі рівнозначності морфологічних ознак та дозволяє оцінювати морфологічну структуру системи за шкалою від 0 до 5 (0 – базовий рівень, 5 – повна автономність).

У разі відсутності засобів для реалізації телематичного забезпечення за відповідними морфологічними ознаками функціональних елементів системи формується морфологічна структура «Базовий КТЗ в традиційній інфраструктурі». У цьому випадку рівень розвитку структури дорівнює 0.

Зміна одного з варіантів реалізації будь-якої ознаки обох функціональних елементів формує нову структуру телематичного забезпечення системи і може розглядатись як спосіб підвищення ефективності функціонування системи КТЗ-I.

Реалізація морфологічної структури «Підключений КТЗ в інфраструктурі з розширеним контролем параметрів» (рис. 2) передбачає використання в КТЗ пристроїв підключення до системи OBD та зв'язку з віддаленим сервером бази даних, телекомунікаційних технологій рівня «Vehicle to Network», рівня 1 автоматизації управління рухом (Cruise Control) та клімат-контролю.

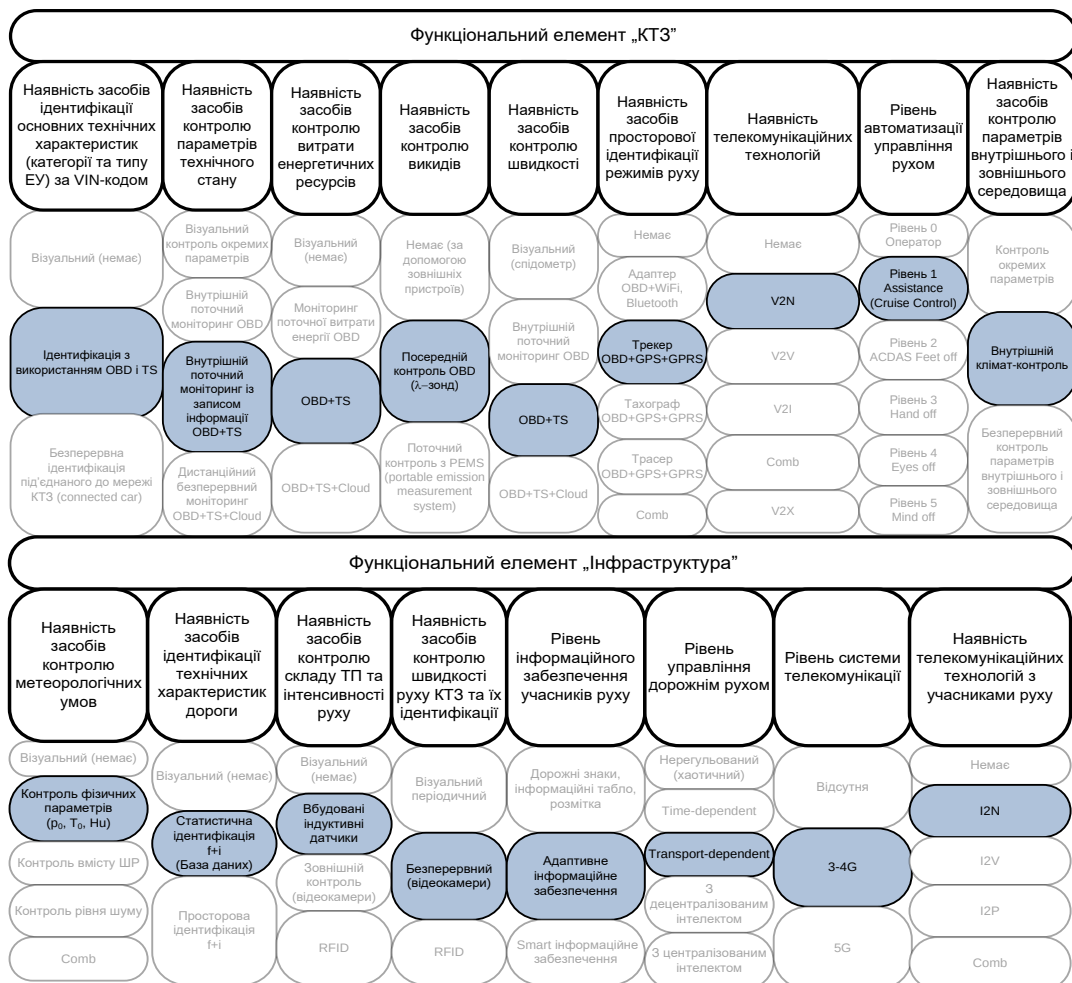


Рисунок 2 – Реалізація морфологічної структури телематичного забезпечення системи «Підключений КТЗ в інфраструктурі з розширеним контролем параметрів»

Інфраструктурне середовище може мати засоби контролю фізичних параметрів навколишнього середовища, засоби ідентифікації технічних характеристик дороги із бази даних, індуктивні датчики контролю інтенсивності й складу транспортного потоку, відеокамери безперервного контролю швидкості КТЗ, адаптивне інформаційне забезпечення учасників руху, транспортно-залежне управління дорожнім рухом, підключення до інформаційної мережі (Infrastructure to Network) за допомогою стандартів зв'язку рівня 3-4G.

Для реалізації структури «Підключений КТЗ в інфраструктурі з розширеним контролем параметрів» можуть використовуватись відповідні апаратно-програмні рішення, що залежать від типу КТЗ. Для підключення та управління технічним станом традиційним КТЗ в рамках окремої мережі транспортного підприємства використовується інтелектуальний програмний комплекс (ІПК) для збору поточних робочих параметрів двигуна КТЗ і системи очищення відпрацьованих газів. Дана система використовує бортове обладнання стандарту OBD-II (адаптер та інформаційний пристрій - смартфон з відповідним програмним забезпеченням), підключене до бортової інформаційної системи, додаткові датчики та трекер-контролер, що передають дані за допомогою мобільних мереж зв'язку до віддаленого серверу даних, автоматизованого робочого місця та інших учасників процесу технічної експлуатації КТЗ та отримують зворотну інформацію для ефективного управління КТЗ. Рівень розвитку такої структури морфологічного забезпечення підвищується до 2,46.

Для оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в системі КТЗ-І розроблено комплекс відповідних критеріїв. Комплекс складається з окремих критеріїв ефективності енергоустановки, що використовуються для оцінювання технічного стану ЕУ у режимі холостого ходу або навантаженому режимі; окремих та інтегральних критеріїв ефективності КТЗ, якими оцінюється ефективність управління КТЗ в окремому режимі руху та на маршруті. Додатково визначають ефективність витрачання енергії та викидання шкідливих речовин у поточний момент руху КТЗ відповідно до виконаної енергоустановкою механічної роботи. Окремими динамічними критеріями ефективності КТЗ є поточна та середня швидкості руху на маршруті, а поточні і середні питомі витрати енергії та викиди шкідливих речовин на одиницю пройденого шляху, транспортної роботи вантажного та пасажирського КТЗ є економічними та екологічними критеріями ефективності. Інтегральні критерії є комплексною оцінкою ефективності КТЗ за зведеними відносними поточними та середніми динамічними, економічними та екологічними критеріями. Зведення відбувається за допомогою коефіцієнтів відносної значимості окремих критеріїв ефективності. Так, середній інтегральний критерій ефективності на одиницю шляху КТЗ визначається як:

$$I_S^{cp} = \alpha \cdot V_a^{cp} / V_a^{max\ cp} + \beta \cdot g_S^{min\ cp} / g_S^{cp} + \gamma \cdot K_E^{cp}, \quad (1)$$

де V_a^{cp} – середня швидкість руху КТЗ, км/год;

$V_a^{max\ cp}$ – середня максимальна допустима швидкість руху, км/год;

g_S^{cp} – середня питома витрата енергії на одиницю шляху КТЗ, МДж/км;

$g_s^{\min \text{ cp}}$ – середня мінімальна питома витрата енергії на одиницю шляху КТЗ, МДж/км;

K_E^{cp} – середній сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю шляху КТЗ;

α, β, γ – коефіцієнти відносної значимості динамічного (0,1-0,4), економічного (0,1-0,4) та сумарного екологічного (0,1-0,4) критеріїв оцінювання відповідно, $\Sigma(\alpha, \beta, \gamma) = 1$.

Середній сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю шляху КТЗ:

$$K_E^{\text{cp}} = \gamma_{\text{CO}} \cdot g_{\text{SCO}}^{\min \text{ cp}} / g_{\text{SCO}}^{\text{cp}} + \gamma_{\text{CH}} \cdot g_{\text{SCH}}^{\min \text{ cp}} / g_{\text{SCH}}^{\text{cp}} + \gamma_{\text{NO}} \cdot g_{\text{SNO}}^{\min \text{ cp}} / g_{\text{SNO}}^{\text{cp}} + \gamma_{\text{CO}_2} \cdot g_{\text{SCO}_2}^{\min \text{ cp}} / g_{\text{SCO}_2}^{\text{cp}}, \quad (2)$$

де $g_{\text{SCO}}^{\text{cp}}, g_{\text{SCH}}^{\text{cp}}, g_{\text{SNO}}^{\text{cp}}, g_{\text{SCO}_2}^{\text{cp}}, g_{\text{SCO}}^{\min \text{ cp}}, g_{\text{SCH}}^{\min \text{ cp}}, g_{\text{SNO}}^{\min \text{ cp}}, g_{\text{SCO}_2}^{\min \text{ cp}}$ – середні та середні мінімальні питомі викиди відповідних шкідливих речовин на одиницю шляху КТЗ, г/км;

$\gamma_{\text{CO}}, \gamma_{\text{CH}}, \gamma_{\text{NO}}, \gamma_{\text{CO}_2}$ – коефіцієнти відносної значимості викидів відповідних шкідливих речовин $\Sigma(\gamma_{\text{CO}}, \gamma_{\text{CH}}, \gamma_{\text{NO}}, \gamma_{\text{CO}_2}) = 1$.

Розроблені функціональні та морфологічні моделі системи КТЗ-I дозволяють сформулювати алгоритм управління експлуатаційною ефективністю відповідно до визначених критеріїв. Запропонований алгоритм містить послідовність дій, які закладено в основу функціонування виконавчих пристроїв управління енергоустановкою, трансмісією та системами забезпечення необхідного швидкісного режиму і напрямку під час роботи ТЗ на відповідному маршруті.

Інформаційною основою алгоритму є: поточні дані, отримані від системи OBD, які характеризують поточний технічний стан КТЗ, режим його руху та режим роботи енергоустановки; дані GPS, які визначають поточне місцезнаходження КТЗ; дані відеокамер спостереження, які визначають поточні дані щодо наявних перешкод руху КТЗ.

У **третьому** розділі визначено інформаційні складові й архітектуру телематичного забезпечення системи КТЗ-I, методику побудови і функціонування її інформаційної моделі дистанційного моніторингу та оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ.

Інформаційна телематична система КТЗ-I – це система супутникового моніторингу й управління КТЗ представляє спеціалізований програмно-апаратний комплекс дистанційного управління параметрами технічного стану ЕУ та КТЗ, режимами роботи ЕУ та трансмісії КТЗ, процесами взаємодії КТЗ з дорожньою інфраструктурою та процесами реалізації заданого закону руху КТЗ в заданих умовах інфраструктурного середовища (рис. 3). Інформаційна модель системи КТЗ-I об'єднує основні завдання моніторингу і контролю КТЗ в умовах експлуатації із основними ознаками та варіантами їх реалізації в рамках розробленої морфологічної моделі.

Фізична архітектура включає в себе програмне забезпечення, апаратні засоби інформаційних і телекомунікаційних технологій, периферійне обладнання.

До її складу, на рівні КТЗ, входять системи штатних та додаткових датчиків КТЗ, мережі й обладнання КТЗ (штатні і додаткові), системи керування технічним станом і режимами руху КТЗ (у відповідності до задач функціональної моделі системи КТЗ-І). До складу фізичної архітектури на рівні інфраструктури входять системи керування утриманням доріг й керування транспортними потоками, безпеки об'єктів транспортної інфраструктури, контрольно-діагностична, користувацьких послуг і сервісів.

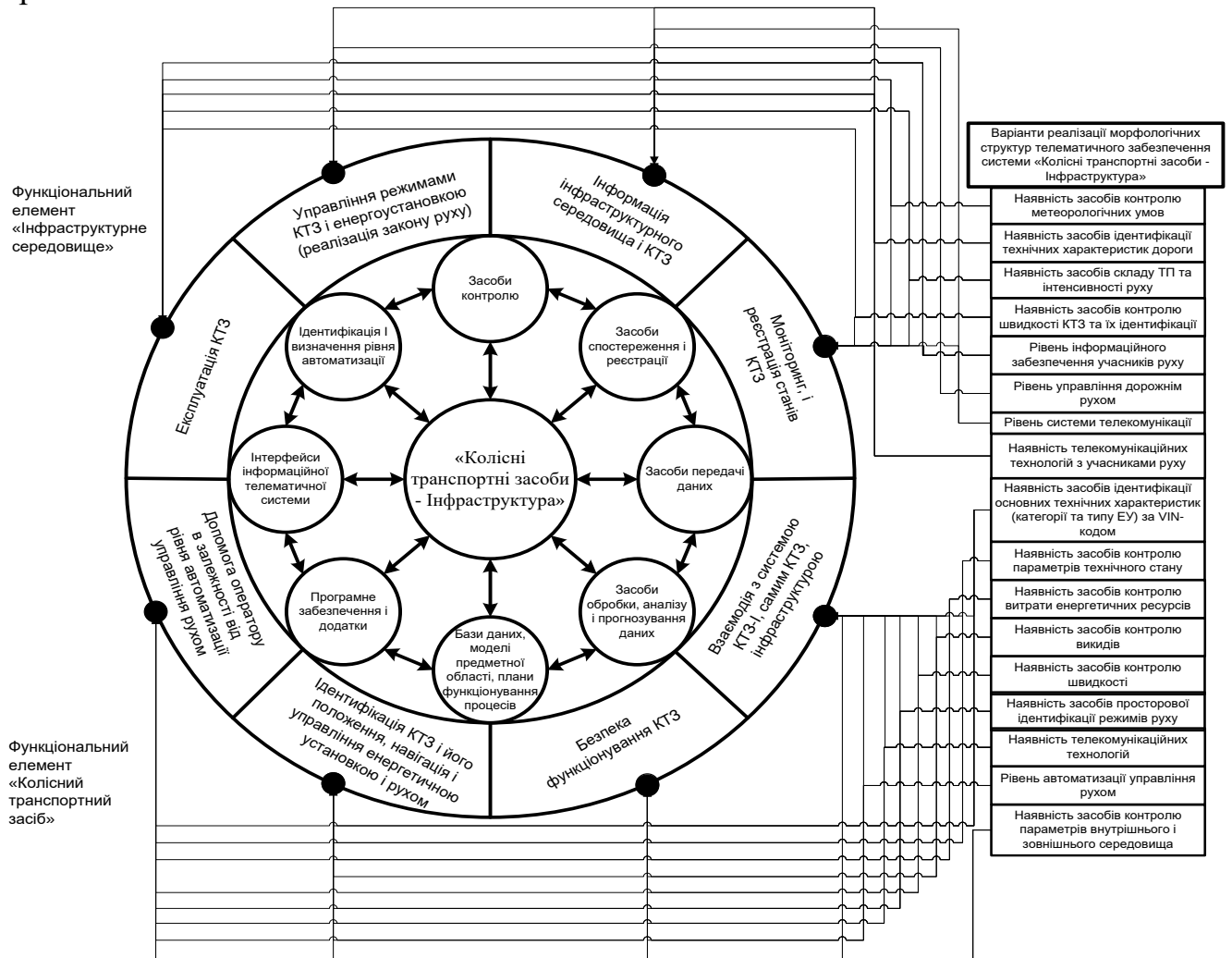


Рисунок 3 – Основні компоненти інформаційної моделі системи КТЗ-І

Основними етапами обробки отриманої інформації про технічний стан КТЗ в системі КТЗ-І є: ідентифікація КТЗ в просторі системою моніторингу й управління законом руху в нестаціонарних умовах експлуатації; збирання вихідних даних про параметри технічного стану і положення у просторі КТЗ, в умовах експлуатації; прогнозування параметрів стану КТЗ за ідентифікацією умов експлуатації; діагностування стану, збирання повідомлень і даних діагностування КТЗ; перевірка відповідності дійсного стану КТЗ отриманим параметрам й умовам експлуатації в процесі моніторингу.

В цілому інформаційна система КТЗ-І – це комплексна система, яка поєднує вирішення задач по моніторингу й управління КТЗ на різних її рівнях:

- телематичному (моніторинг, аналіз, прогнозування, діагностування, співставлення складових);

- аналітичному (перетворення вхідної енергії у механічну, передача механічної енергії до коліс КТЗ, перетворення обертального руху коліс в поступальний рух КТЗ, зміна режимів та напрямків руху відповідно до заданого закону руху в результаті взаємодії КТЗ із транспортною інфраструктурою).

Функціонал системи поєднує складові:

- збирання інформації про параметри стану КТЗ й ЕУ в умовах експлуатації;
- обробка отриманої інформації про параметри стану КТЗ й ЕУ в умовах експлуатації;
- прогнозування на основі отриманої інформації про параметри стану КТЗ й ЕУ в умовах експлуатації;
- збирання і розшифровування інформації про рівень автоматизації КТЗ й ЕУ ідентифікація КТЗ та операторів в умовах експлуатації;
- збирання і розшифровування інформації про зовнішні фактори та умови експлуатації КТЗ;
- діагностування технічного стану і несправностей КТЗ та ЕУ умовах експлуатації;
- управління параметрами технічного стану КТЗ й енергоустановки в умовах експлуатації (тепловий стан тощо);
- управління режимом роботи трансмісії КТЗ;
- управління інтенсивністю зміни процесів перетворення руху коліс і поступального руху КТЗ;
- управління заданим законом руху КТЗ.

Всі перераховані складові системи є функціями організації процесу експлуатації КТЗ і взаємодії елементів системи в залежності від рівнів її реалізації і морфологічних ознак, а їх сукупність - це деякий функціонал S , що характеризує придатність системи до забезпечення основних процесів експлуатації й управління КТЗ. Чим більше величина S , тим вище рівень придатності системи до забезпечення підтримки у виконанні поставлених задач.

Для формування інформаційного забезпечення процесу експлуатації КТЗ, у відповідний момент часу, були зібрані наявні джерела інформації відносно координат КТЗ на місцевості в реальному часі, моделей автомобільних доріг та об'єктів їх інфраструктури, отримані результати трекінгу КТЗ тощо.

В процесі дослідження та оцінки експлуатації й управління КТЗ в системі КТЗ-І, у відповідний момент часу, використовувалась географічна модель автомобільної дороги в Google Maps, яка являє собою шар лінійних об'єктів з параметрами інформаційної взаємодії:

$$F_{ts \Sigma e.y. \Sigma KTZ - Ii} (RV_{Road})_i = \left(\begin{array}{c} Ident_{RV_i}, Cat_{RV_i}, Cod_{Dil_i}, Distanse_{Descr_i}, \\ Type_{RV_{\eta_i}}, Type_{Road_{\eta_i}}, Track_{V_i}, Ident_{\Sigma e.y. \Sigma KTZ - Ii} RV_i \end{array} \right), \quad (3)$$

де $Ident_{RV_i}$ – ідентифікатор i -тої ділянки руху КТЗ;

Cat_{RV_i} – категорія i -тої ділянки автомобільної дороги;

Cod_{Dil_i} – код i -тої ділянки автомобільної дороги;

$Distanse_{Descr_i}$ – опис i -тої ділянки автомобільної дороги;

$Type_{RVn_i}$ – кількість смуг руху на i -тій ділянці автомобільної дороги;

$Type_{Roadn_i}$ – тип дорожнього покриття i -тої ділянки автомобільної дороги;

$Track_{V_i}$ – ширина смуги руху i -тої ділянки автомобільної дороги;

$Ident$

$\Sigma e.y.\Sigma KT3 - Ii^{RV_i}$ – ідентифікатор процесу експлуатації КТЗ у відповідний

момент часу.

Згідно з географічною моделлю автомобільної дороги була розроблена інформаційна модель положення КТЗ та маршруту руху. Швидкісна модель режимів руху КТЗ, яка є таблицею лінійних подій, накладається на модель маршруту руху і дозволяє визначати продуктивність КТЗ на визначеному маршруті.

Дані про витрату палива КТЗ порівнюються з лінійними нормами витрати палива даного типу КТЗ і визначається відхилення, яке використовується для оцінки економічної ефективності КТЗ в даних умовах з урахуванням теплового стану ЕУ та каталітичного нейтралізатора.

Для забезпечення ефективності експлуатації КТЗ, у відповідний момент часу згідно з встановленими критеріями, необхідно проводити коригування швидкості руху КТЗ в залежності від поточних умов маршруту.

Розроблена інформаційна модель дозволяє формувати масив поточних даних про параметри експлуатації КТЗ та здійснювати, згідно цих даних, прогнозування показників ефективності експлуатації на визначену кількість майбутніх періодів часу із застосуванням методів Data Mining.

Четвертий розділ присвячено моделюванню основних процесів системи КТЗ-I, зворотних зв'язків підсистем та системи загалом.

Дослідження ефективності запропонованих алгоритмів управління КТЗ для різних варіантів телематичного забезпечення здійснюється за допомогою математичної моделі системи КТЗ-I, яка описує основні процеси функціонування КТЗ у визначених інфраструктурних умовах та реалізує алгоритми управління вхідними параметрами згідно цільових функцій, що враховують окремі та інтегральні критерії ефективності КТЗ. Інформаційне наповнення процесів моделювання показників експлуатаційної ефективності КТЗ забезпечується інформаційною моделлю системи, що здійснює отримання, обробку й аналіз даних щодо поточних параметрів функціонування КТЗ у визначених інфраструктурних умовах.

Математичну модель системи КТЗ-I побудовано, виходячи із її функціональної схеми (рис. 1). Вона послідовно реалізує основні процеси і зворотні зв'язки системи. Загальний алгоритм моделювання основних режимів руху КТЗ у визначених інфраструктурних умовах описує процес моделювання режимів руху КТЗ під час досягнення заданого значення швидкості: розгін двигуна в режимі холостого ходу, рушання з місця і розгін до першого переключення передач, розгін до заданої швидкості. Два останніх етапи періодично повторюються в процесі досягнення заданої швидкості відповідно до її значення.

Фрагмент загального алгоритму на прикладі моделювання процесу рушання КТЗ показано на рис.4.

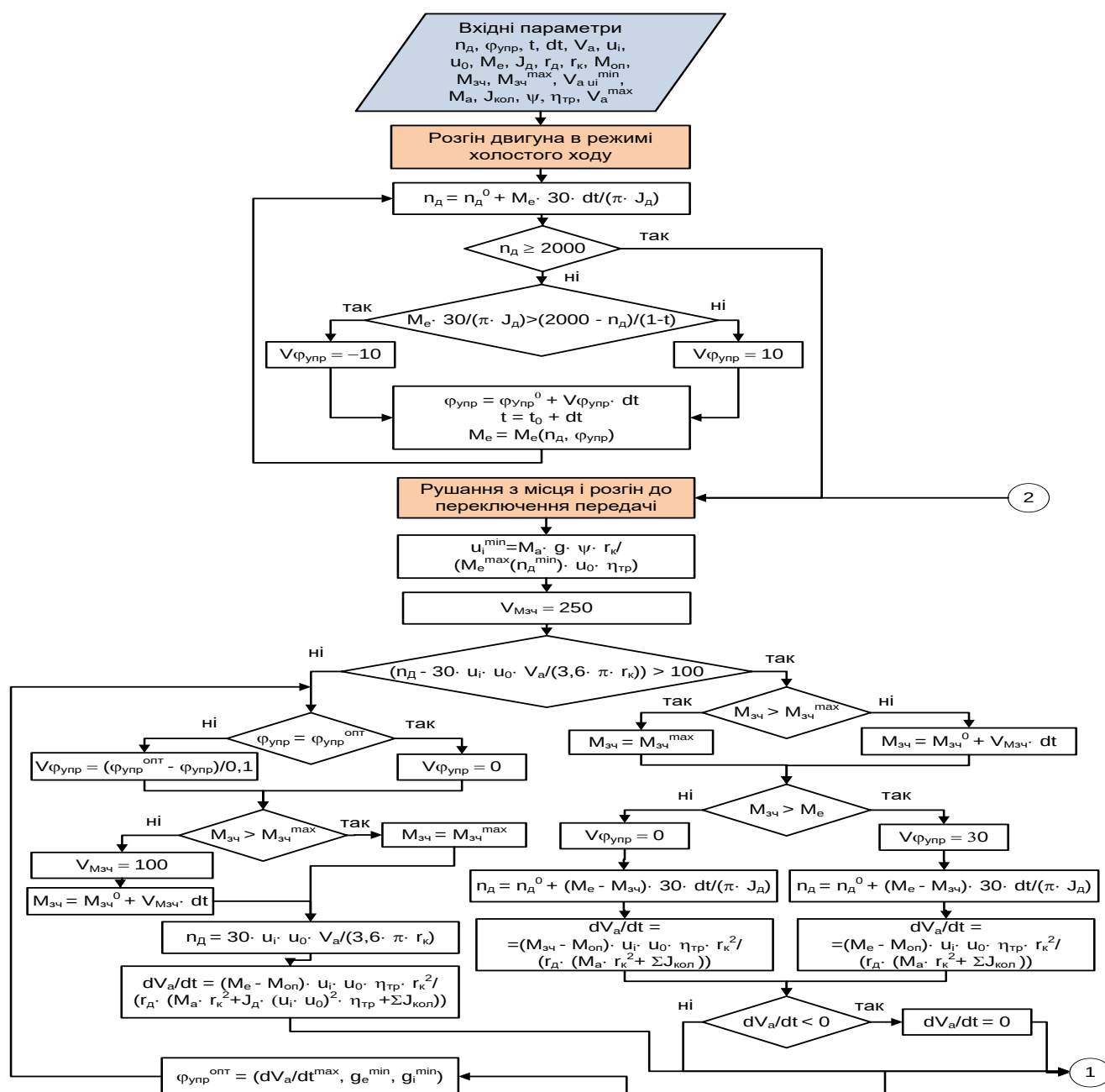


Рисунок 4 – Фрагмент алгоритму моделювання процесу рушання КТЗ

Основні функціональні залежності математичної моделі системи КТЗ-І описують параметри ЕУ (навантаження, кількість витраченої енергії, індикаторний крутний момент, момент механічних втрат, ефективний крутний момент, концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах (ВГ), викиди шкідливих речовин) та параметри КТЗ (частота обертання валу двигуна під час розгону в режимі холостого ходу з буксуючим та блокованим зчепленням; прискорення КТЗ з буксуючим та блокованим зчепленням; параметри інфраструктури: коефіцієнт дорожнього опору та момент опору руху).

Основними параметрами управління режимом руху КТЗ під час реалізації заданого закону руху є положення важеля управління ЕУ, яке визначає крутний момент, що розвиває двигун, прискорення КТЗ та частоту обертання валу двигуна при переході на вищу передачу під час розгону КТЗ. Ці параметри визначаються системою управління з урахуванням забезпечення максимальних значень критеріїв ефективності КТЗ у даних умовах руху.

Зокрема, положення важеля управління ЕУ повинно забезпечити значення крутного моменту двигуна, необхідного для досягнення оптимальної швидкості руху у визначених інфраструктурних умовах в поточний момент часу. Це значення крутного моменту двигуна визначається із залежності, яка є функцією параметрів ЕУ та системи теплової підготовки виду (для випадку двигуна з іскровим запалюванням), Нм:

$$M_e = M_i \left[n_\partial, g_\psi \left(G_{нов} \left(\begin{matrix} n_\partial, \\ p_k(n_\partial, \varphi_{\partial p}) \end{matrix} \right), \alpha, l_0, i_\psi, n_\partial \right) \right] -$$

$$- M_m \left[\begin{matrix} n_\partial, p_k(n_\partial, \varphi_{\partial p}) \\ t_e \left(\begin{matrix} \tau, q_T \left(q_\psi \left(\begin{matrix} n_\partial, \\ p_k(n_\partial, \varphi_{\partial p}) \end{matrix} \right), n_\partial, i_\psi \end{matrix} \right), \right. \\ \left. q_{TA}(\alpha_{TA}(n_{TA}), F_{TA}, T_{TA}(\tau), t_e) \right) \\ M_{TA}(n_{TA}, n_\partial) \end{matrix} \right], \quad (4)$$

де M_i – індикаторний крутний момент двигуна, Нм;

M_m – момент механічних втрат двигуна, Нм;

n_∂ – частота обертання вихідного валу двигуна, хв⁻¹;

g_ψ – циклова витрата палива двигуном, мг/цикл;

$G_{нов}$ – витрата повітря, кг/год;

p_k – абсолютний тиск у впускному колекторі, Па;

$\varphi_{\partial p}$ – ступінь відкриття дросельної заслінки, %;

α – коефіцієнт надміру повітря;

l_0 – теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива, кг/кг;

i_ψ – число циліндрів двигуна;

t_e – температура охолоджуючої рідини, К;

τ – час, с;

q_T – тепловий потік внаслідок втрат теплоти робочого тіла в циліндрі у охолоджуючу рідину, Вт;

q_ψ – кількість теплоти, втрачена від робочого тіла в циліндрі за один робочий цикл, Дж;

q_{TA} – тепловий потік внаслідок теплопереносу від теплового акумулятора до охолоджуючої рідини, Вт;

α_{TA} – коефіцієнт тепловіддачі від стінок теплообмінника теплового акумулятора до охолоджуючої рідини, Вт/(м²·К);

n_{TA} – частота обертання приводного валу насоса теплового акумулятора, хв⁻¹;

F_{TA} – площа поверхні стінок теплообмінника теплового акумулятора, що контактує з охолоджуючою рідиною, м²;

T_{TA} – температура стінок теплового акумулятора, що визначається температурою фазового переходу теплоакумулюючого матеріалу, К;

M_{TA} – момент втрат на колінчастому валу, створюваний додатковим насосом, Н·м.

Параметри, що входять до складу формули (4) в окремих режимах роботи ЕУ КТЗ описуються поліноміальними залежностями, отриманими під час стендових випробувань двигунів КТЗ. Приклади графічних залежностей індикаторного крутного моменту та моменту механічних втрат двигуна ВАЗ-21101, визначених за допомогою поліноміальних моделей, та відповідні точки експериментальних даних, представлено на рис. 5, 6.

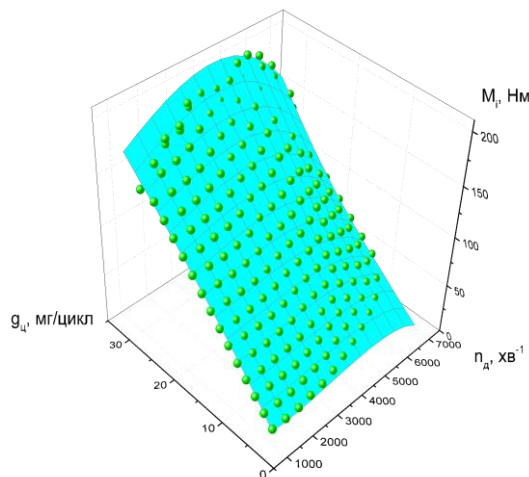


Рисунок 5 – Залежність індикаторного крутного моменту двигуна КТЗ ВАЗ-21101 при живленні бензином

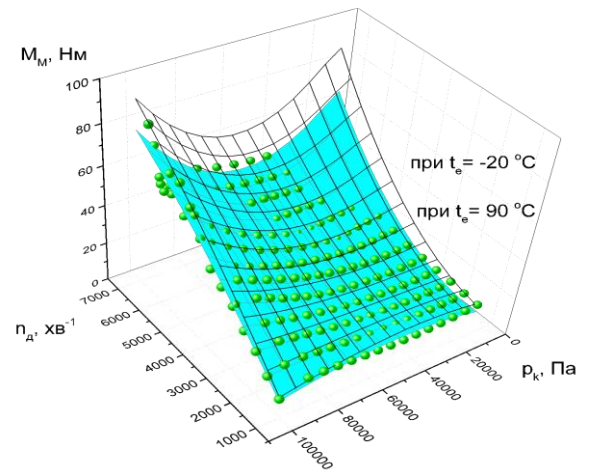


Рисунок 6 – Залежність моменту механічних втрат двигуна КТЗ ВАЗ-21101 при живленні паливом Е-40

Момент дорожнього опору та повітря, приведений до валу двигуна, у даних інфраструктурних умовах, визначається за виразом, Н·м:

$$M_{on} = \frac{\left(M_a \cdot g \cdot \psi(GPS) + C_x \cdot \rho_0 \cdot F_a \cdot \frac{V_a^2}{2} \right) \cdot r_d}{u_i \cdot u_0 \cdot \eta_{mp}}, \quad (5)$$

де M_{on} – момент дорожнього опору та повітря, приведений до валу двигуна Н·м;
 M_a – маса КТЗ, кг;

$\psi(GPS)$ – поточний коефіцієнт дорожнього опору, визначений відповідно до поточних географічних координат положення КТЗ на дорозі в даних інфраструктурних умовах;

C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору КТЗ;

ρ_0 – густина повітря, кг/м³;

F_a – площа поперечного перерізу КТЗ, м²;

V_a – швидкість КТЗ, м/с;

r_0 – динамічний радіус колеса, м;

u_i – передаточне число коробки передач;

u_0 – передаточне число головної передачі;

η_{tr} – ККД трансмісії.

Перевірку адекватності моделювання показників КТЗ здійснено порівнянням витрат енергії та концентрацій шкідливих речовин, отриманих експериментально, та з використанням математичної моделі для КТЗ KIA SEED під час його руху у їздовому циклі Правил ООН № 83. Загальна похибка математичного моделювання, визначена за величиною сумарної за їздовий цикл витрати палива КТЗ, складає 3,4%.

У п'ятому розділі наведено мету, програму, об'єкти і методики експериментальних досліджень, описано експериментальні установки і засоби телематики, що використовувались для отримання інформації про технічний стан та режими руху досліджуваних КТЗ.

Метою експериментальних досліджень є аналіз ефективності різних методів управління технічним станом та режимами роботи ЕУ КТЗ, а також визначення вихідних даних для математичного моделювання процесів автоматизованого управління технічним станом та режимами руху КТЗ для забезпечення високої ефективності його експлуатації.

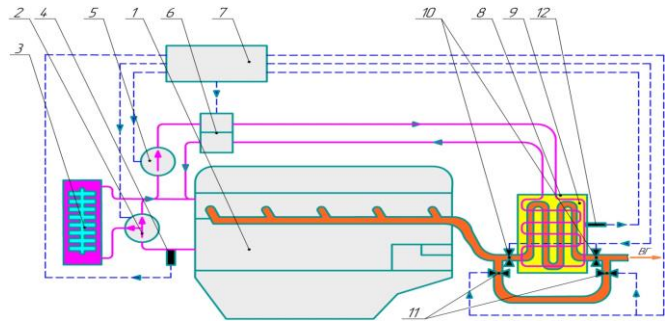
Програма експериментальних досліджень включала: дослідження системи забезпечення оптимального теплового стану ЕУ КТЗ; дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ, обладнаних різними системами живлення, управління та з використанням різних палив, під час стендових випробувань в усталених режимах та за їздовим циклом згідно з Правилами ООН № 83; дослідження динамічних та економічних показників КТЗ в умовах експлуатації, під час руху на реальному маршруті.

Об'єктами експериментальних досліджень були КТЗ категорії M1 (KIA SEED та ВАЗ-21101), що використовували у якості палива бензин, зріджений нафтовий газ (ЗНГ) та бензоспиртову суміш Е40; КТЗ категорії N2 (ГАЗ-66-11 з двигуном 8Ч 9,2/8), обладнаний системою забезпечення теплового стану ЕУ; КТЗ категорії N3 (Mercedes-Benz Actros 1845 LS) для дослідження динамічних та економічних показників в умовах експлуатації, під час руху на реальному маршруті. Експериментальні установки, що використовувалися, показано на рис. 7.

Під час проведення стендових досліджень КТЗ використовувалось експериментальне обладнання лабораторії дослідження використання палив та екології ДП «ДержавтотрансНДІпроект», яке забезпечило моделювання руху автомобіля за їздовим циклом згідно з Правилами ООН № 83, відбору й аналізу складу ВГ, витрати палива та параметрів навколишнього середовища.



а



б



в



г

Рисунок 7 – Експериментальні установки для випробувань КТЗ: а – КТЗ KIA SEED на моделюючому роликовому стенді AVL; б – система теплової підготовки КТЗ ГАЗ-66-11, 1 – двигун, 2 - електричний насос, 3 – радіатор, 4 - датчик температури охолоджуючої рідини, 5 – електричний насос подачі охолоджуючої рідини до теплового акумулятора (ТА), 6 - клапан подачі охолоджуючої рідини до ТА, 7 – блок управління, 8 – ТА, 9 – теплоакумулюючий матеріал, 10 – клапани подачі відпрацьованих газів (ВГ) до ТА, 11 – клапани байпасу ВГ, 12 - датчик температури теплоакумулюючого матеріалу; в - система відбору ВГ та блок пробопідготовки системи CVS; г – ІПК на базі трекера Ruptela FM-Tco4 HCV / HCV 3G в КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS

Під час проведення стендових досліджень КТЗ, для організації процесу запису потоку даних від системи діагностування стандарту OBD II, було використано експериментальні робочі версії елементів ІПК.

Результати експериментальних досліджень системи теплової підготовки ЕУ КТЗ (ГАЗ-66-11) показано на рис. 8. Теплова підготовка системи охолодження передбачала штатний прогрів, прогрів з інтелектуальним управлінням інтенсивністю і напрямком прокачування рідини в штатній системі охолодження та прогрів при використанні теплового акумулятора в системі охолодження. В якості теплоакумулюючого матеріалу використовувався поліетилен високої густини, що має температуру фазового переходу 408 К.

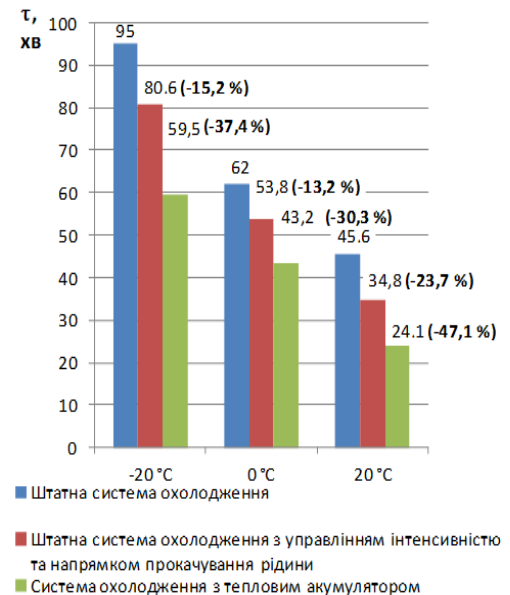


Рисунок 8 – Результати експериментальних досліджень системи теплової підготовки ЕУ КТЗ

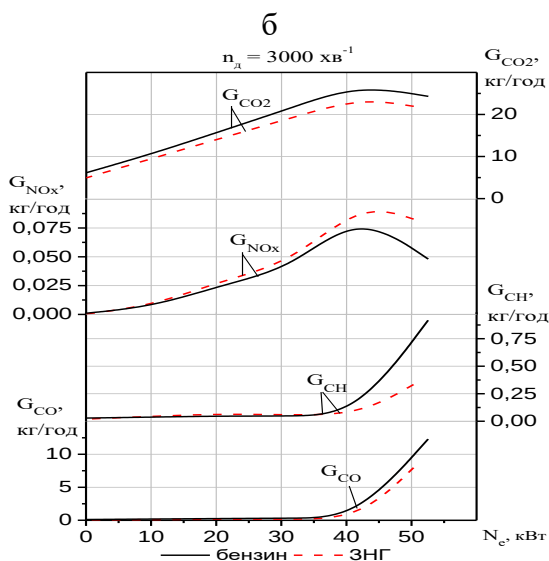
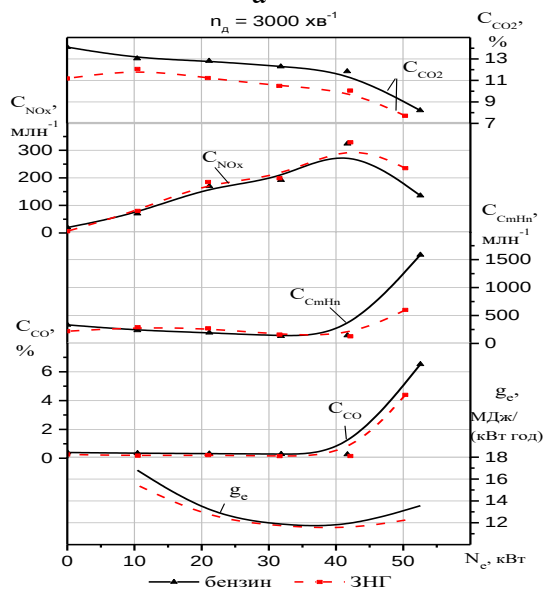
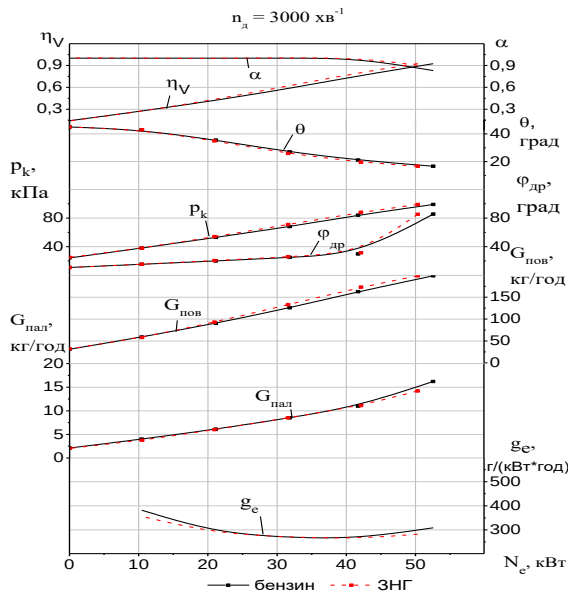


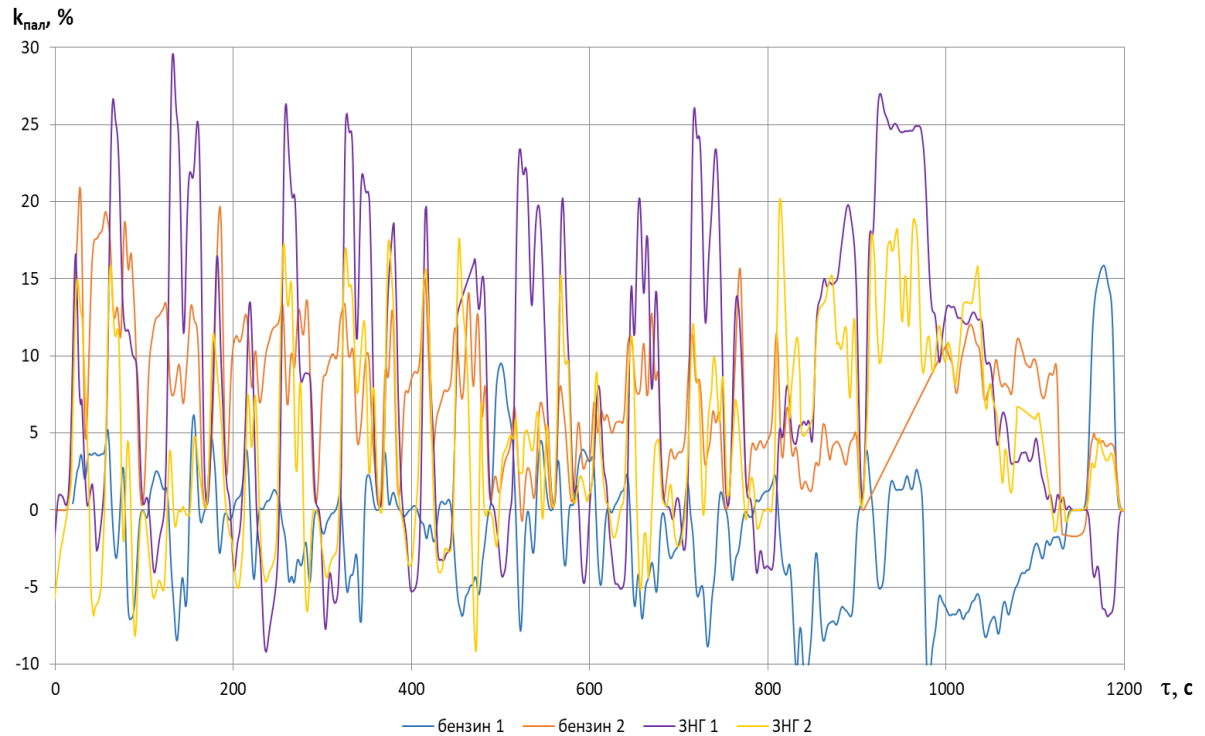
Рисунок 9 – Результати експериментальних досліджень: а, б, в – навантажувальні характеристики двигуна КТЗ KIA CEED

Як видно із результатів дослідження, використання інтелектуального управління штатною системою охолодження, скорочує час повного прогріву на 15,2%, 13,2%, 23,7% за температур навколишнього середовища відповідно -20°C , 0°C , $+20^{\circ}\text{C}$. Такий вплив температури навколишнього середовища на скорочення часу прогріву при використанні даного способу управління тепловим станом ЕУ можна пояснити сукупною дією таких факторів, як нелінійна залежність густини, в'язкості і прокачуваності охолоджуючої рідини від температури та залежністю інтенсивності теплообміну зовнішніх поверхонь двигуна з навколишнім середовищем від його температури. Використання теплового акумулятора скорочує час прогріву на 37,4%, 30,3%, 47,1% за температур навколишнього середовища -20°C , 0°C , $+20^{\circ}\text{C}$.

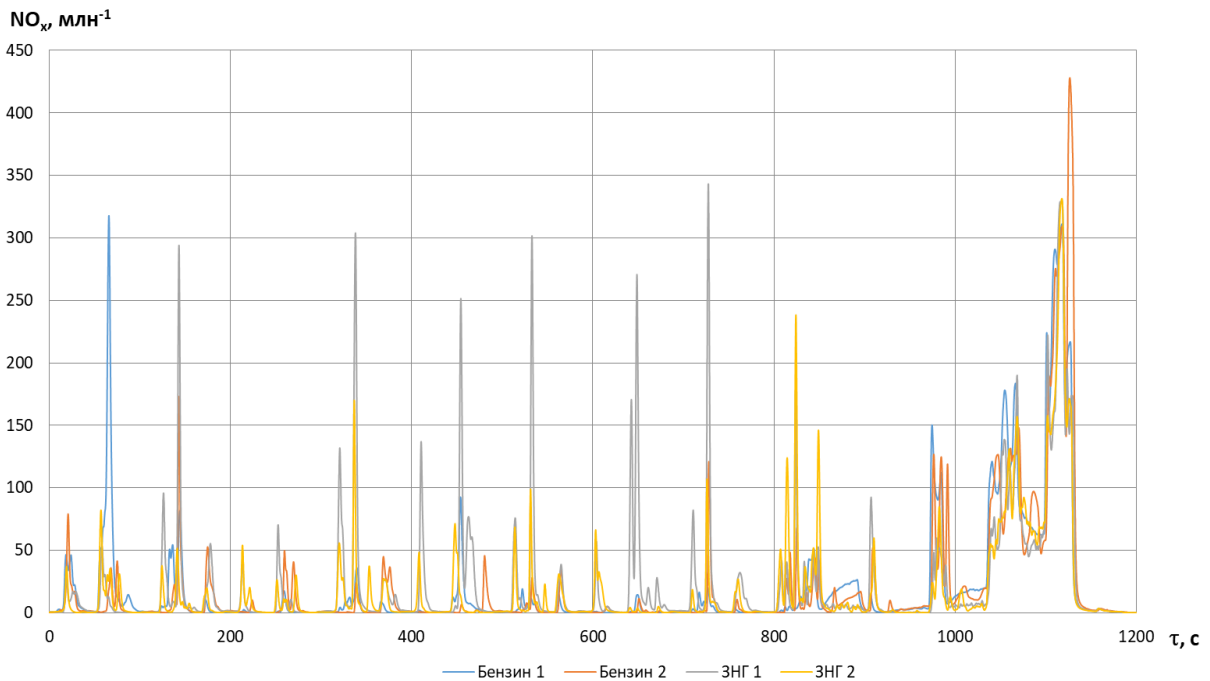
Під час стендових випробувань КТЗ було визначено навантажувальні характеристики двигунів при живленні різними паливами. Дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ дозволило встановити, ефективність роботи системи управління двигуном при живленні різними паливами в усталених режимах роботи двигуна та в їздовому циклі і визначити вплив адаптованості системи на енергетичні, економічні та екологічні показники КТЗ. Результати стендових досліджень двигунів КТЗ (KIA CEED) було використано для побудови поліноміальних моделей ЕУ. Окремі результати стендових випробувань представлено на рис. 9 а, б, в.

Установлено, що використання ЗНГ, порівняно із бензином, призводить до погіршення енергетичних показників на 3,5-3,8% внаслідок недостатньої адаптації системи в режимі повного навантаження. При цьому спостерігається поліпшення ефективності використання енергії на 4,2-8,9%.

При визначенні економічних та екологічних показників КТЗ, під час випробування типу I згідно з Правилами ООН № 83, здійснювався запис даних за допомогою бортових ІПК. Як приклад, на рис. 10 наведено часові залежності ступеня корекції подачі палива та концентрацій оксидів азоту у потоці відпрацьованих газів при русі КТЗ KIA CEED в їздовому циклі.



а



б

Рисунок 10 – Часові залежності ступеня корекції подачі палива (а) та концентрацій оксидів азоту у потоці відпрацьованих газів (б) при русі КТЗ KIA CEED у їздовому циклі

Корекцією подачі палива забезпечувалась динамічність на неусталених режимах руху КТЗ, паливна економічність та екологічні показники двигуна КТЗ. Із представлених залежностей (рис. 10) видно, що при переходах з одного палива на інше певний час відбувається налаштування системи. Тому ступінь корекції відрізняється, наприклад, в першому випробуванні від другого при роботі на одному паливі, що вплинуло на результати вимірювань концентрацій та викидів шкідливих речовин під час руху КТЗ у їздовому циклі. Так, виміряні в потоці ВГ концентрації оксидів азоту мають складний характер. Стрибки концентрацій мають місце у випадку живлення обома паливами. При цьому більші стрибки мають місце на початку циклу при живленні бензином та ЗНГ у перших випробуваннях на цих паливах, що пов'язано із переходом з одного палива на інше та адаптаційними процесами системи управління.

В цілому, за результатами розрахунку масових викидів шкідливих речовин у їздовому циклі KIA CEED встановлено, що при живленні ЗНГ викиди CO зменшуються в середньому на 30,7 %, викиди C_mH_n – на 9,2 %, викиди NO_x зростають в середньому на 4,7 %, викиди CO_2 зменшуються на 9,8 %. За результатами розрахунку масових викидів шкідливих речовин у їздовому циклі ВАЗ-21101 встановлено, що при живленні паливом Е-40, порівняно з бензином з моменту пуску холодного двигуна, викиди CO зменшуються на 45,1 %, викиди C_mH_n зростають на 40 %, викиди NO_x зростають на 2,7 %, викиди CO_2 зменшуються на 2,9 %. Отримані результати, очевидно, є свідченням недостатньої адаптації системи управління до використання нестандартного палива Е-40. Прогрів двигуна суттєво змінює масові викиди шкідливих речовин. Так, при випробуванні прогрітого двигуна, порівняно із непрогрітим, викиди CO зменшуються на 62-65 %, викиди C_mH_n – на 51 %, викиди NO_x зростають на 2,3-11 %, викиди CO_2 зменшуються на 4,6-5,3 %.

Для аналізу експлуатаційної ефективності вантажного Mercedes-Benz Actros 1845 LS у дійсних інфраструктурних умовах виконано дослідження динамічних та економічних показників під час руху на реальному маршруті (рис. 11). Для аналізу показників експлуатаційної ефективності дослідний маршрут, загальною довжиною близько 1300 км, було поділено на 12 ділянок. Для аналізу впливу дорожніх умов на показники ефективності КТЗ для маршруту визначено також профіль висот.

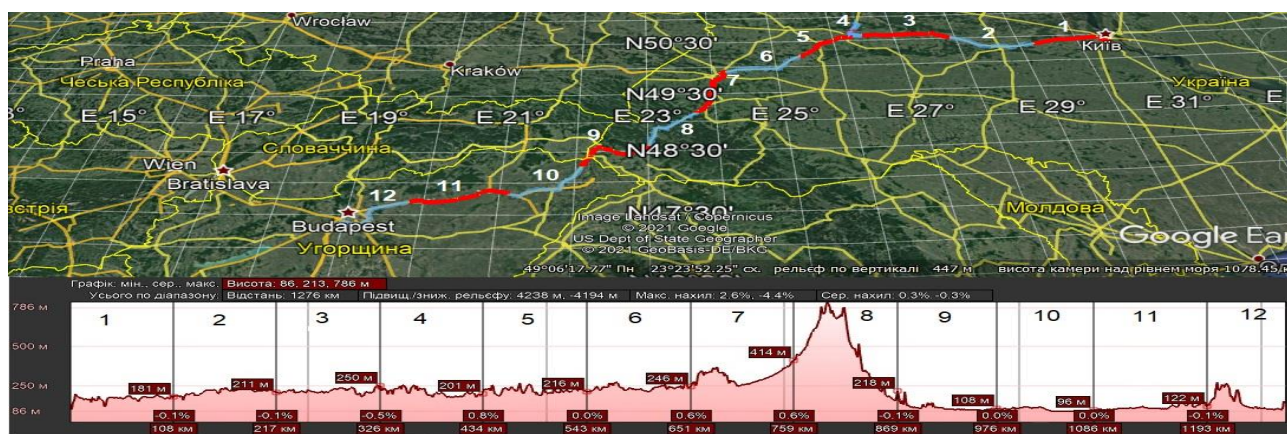


Рисунок 11 – Дослідний маршрут для аналізу експлуатаційної ефективності вантажного Mercedes-Benz Actros 1845 LS

Результати дослідження експлуатаційної ефективності КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS на маршруті показано на рис. 12. Як видно із представлених результатів, різні ділянки маршруту характеризуються різними технічними швидкостями (рис. 12 а), яка є основним показником транспортної продуктивності КТЗ. Також технічний стан двигуна визначається різною середньою температурою охолоджуючої рідини (рис. 12 б). Установлено, що технічна швидкість і технічний стан КТЗ мають визначальний вплив на інші показники експлуатаційної ефективності.

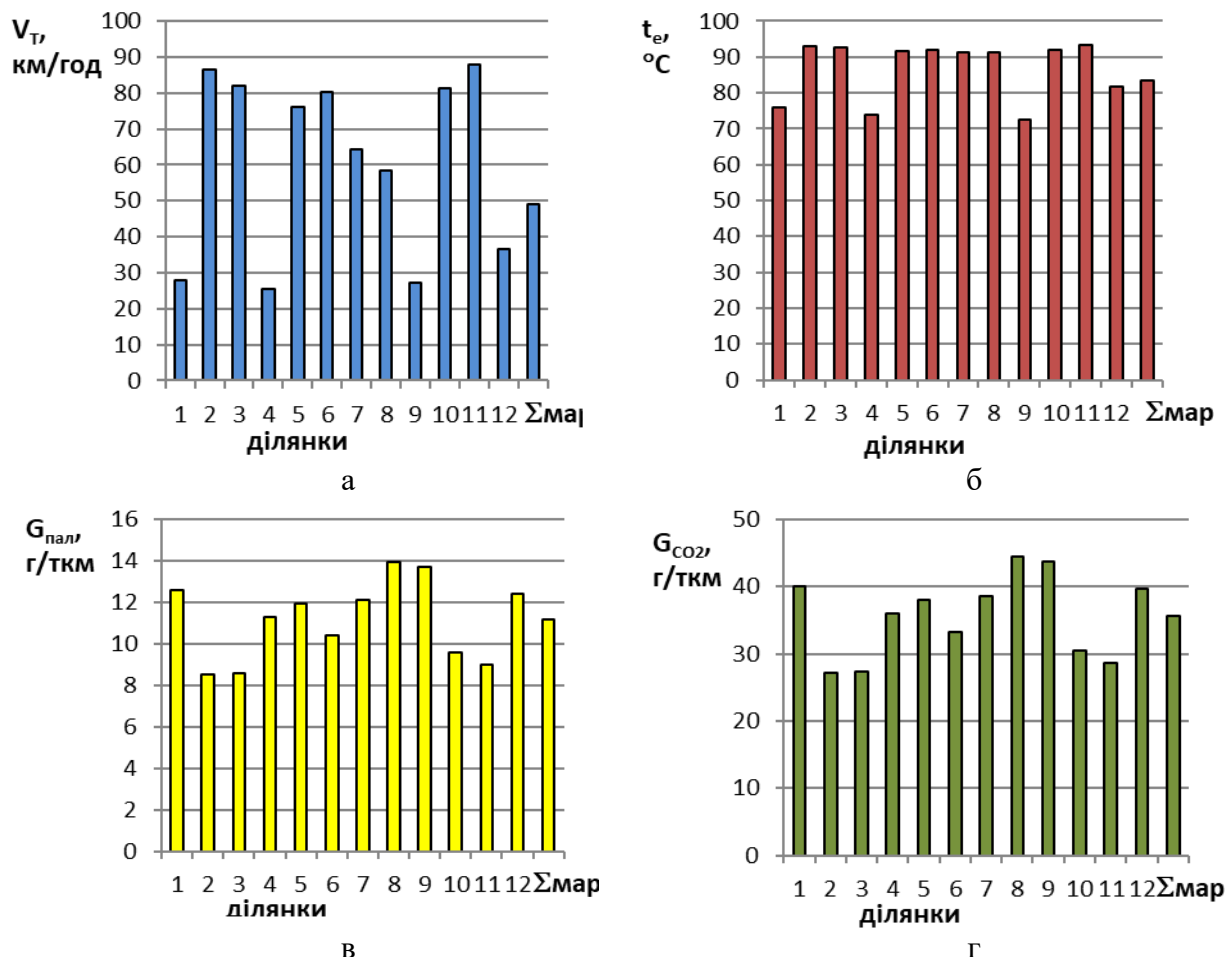


Рисунок 12 – Результати дослідження експлуатаційної ефективності КТЗ на маршруті: а – технічна швидкість; б – температура охолоджуючої рідини; в – питома витрата палива; г – питомі викиди CO_2

Мінімальні витрата палива (рис. 12 в) та шкідливі викиди (рис. 12 г) на одиницю виконаної транспортної роботи спостерігаються на ділянках 2, 3, 10 та 11. На цих ділянках досягнуті найвищі значення технічної швидкості, температура охолоджуючої рідини двигуна оптимальна, а профіль висот дороги характеризується мінімальними перепадами. Зниження технічної швидкості від доцільного значення 85 км/год та температури охолоджуючої рідини на ділянках 1, 4, 9 та 12 призводить до підвищення витрати палива і викидів в середньому на 44 %. Найбільша витрата палива та викиди отримані на ділянці 8, яка характеризується значними перепадами висот дороги, що призводить також до зниження технічної швидкості. На цій ділянці витрата палива та викиди збільшуються ще на 7,7 % порівняно із ділянками 1, 4, 9, 12.

Таким чином, отримані результати свідчать про значний вплив експлуатаційних умов та технічного стану КТЗ на його продуктивність, витрату палива та викиди шкідливих речовин.

У шостому розділі проведено дослідження ефективності системи забезпечення теплового стану ЕУ КТЗ у різних режимах прогріву, представлено методи, засоби і приклади обробки та прогнозування даних бортовим ІПК в процесі експлуатації КТЗ, подано результати дослідження впливу варіантів комплектації системи управління ефективністю КТЗ в умовах експлуатації за динамічним, економічним, екологічним та інтегральним критеріями.

Дослідження, виконане з використанням розробленої математичної моделі (розділ 4), дозволило встановити доцільні межі управління системою забезпечення теплового стану ЕУ КТЗ, зокрема, частотою обертання валу циркуляційного насоса теплоносія системи охолодження за економічним та екологічним критеріями. Як приклад, на рис. 13 представлено результати дослідження з визначеними конструктивними параметрами для системи прискореного прогріву двигуна КТЗ категорії М1 (ВАЗ-21101). Час роботи двигуна при різних частотах обертання циркуляційного насоса взято однаковим, що відповідає часу прогріву $\tau_{пр}$ двигуна до робочої температури без теплового акумулятора.

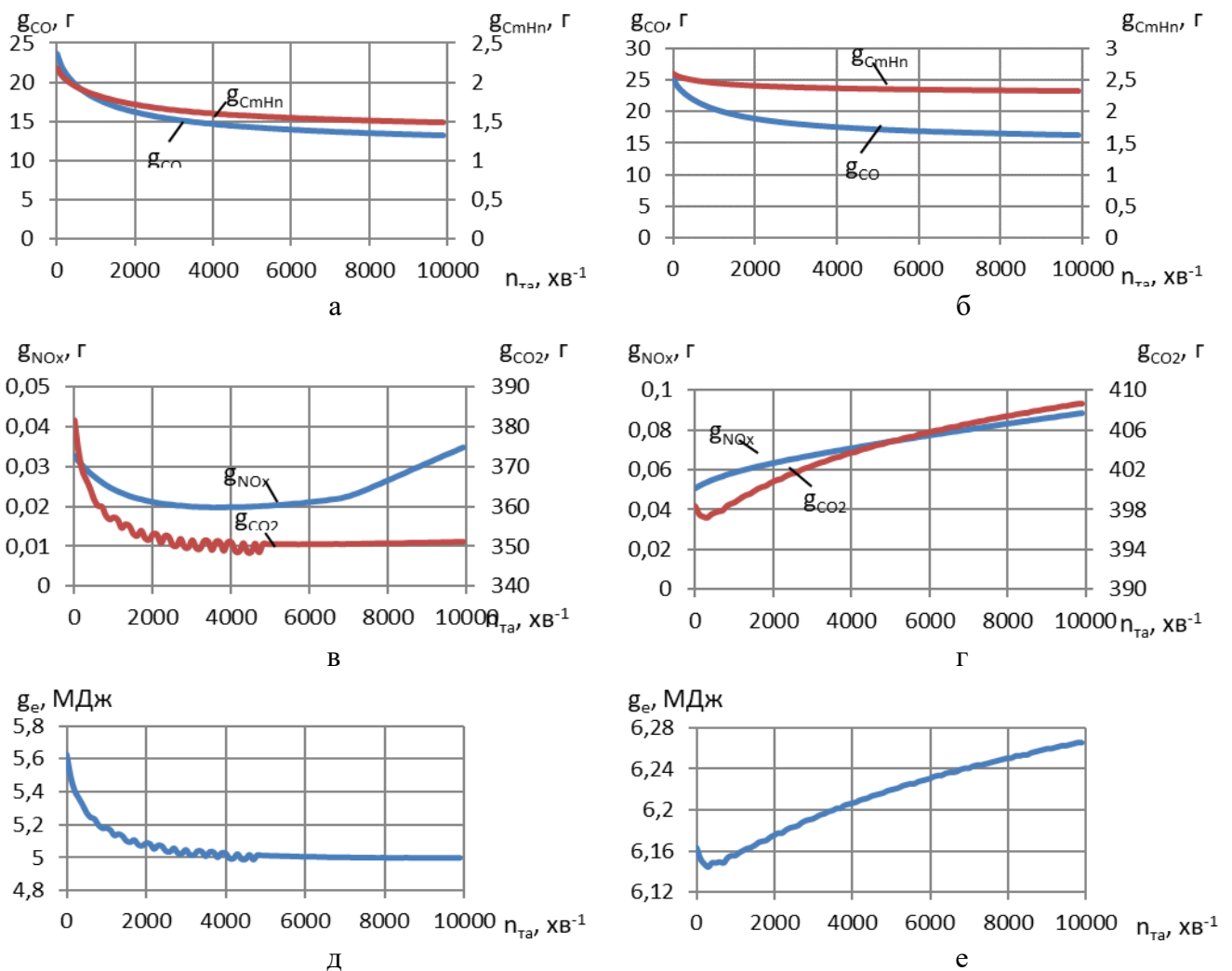


Рисунок 13 – Вплив частоти обертання циркуляційного насоса на викиди CO та C_mH_n (а, б), NO_x та CO_2 (в, г) та витрату енергії (д, е) в період прогріву двигуна в режимі холостого ходу: а, в, д – $n_d = 1000 \text{ хв}^{-1}$; б, г, е – $n_d = 1500 \text{ хв}^{-1}$

Як видно із представлених результатів, збільшення частоти обертання має суттєвий вплив на зменшення викидів СО. Разом з тим, вплив на інші показники двигуна неоднозначний. В цілому, ефект значного поліпшення всіх екологічних та паливно-економічних показників може бути досягнуто лише при мінімальних частотах обертання холостого ходу (рис. 13 а, в, д). В цьому режимі оптимальна частота обертання валу насоса складає $n_{TA}^{opt} = 3700 \text{ хв}^{-1}$. Для інших режимів роботи двигуна (зокрема, рис. 13, б, г, е) встановлена залежність оптимальної частоти обертання валу циркуляційного насоса в залежності від тиску у впускному колекторі.

При безпосередньому управлінні поточними режимами руху КТЗ основним параметром, що забезпечує заданий закон руху, є крутний момент на валу двигуна. Система управління на базі бортового ПІК здійснює постійний поточний аналіз дійсного крутного моменту та визначення, необхідного для забезпечення заданого закону руху, крутного моменту з урахуванням поточного моменту зовнішніх сил опору. Момент зовнішніх сил опору визначається в залежності від поточних дорожніх умов руху згідно з залежністю (5). На рис. 14 показано фрагмент, визначених системою управління, поточного крутного моменту на валу двигуна та моменту опору зовнішніх сил під час руху КТЗ (ВАЗ-21101) на маршруті.

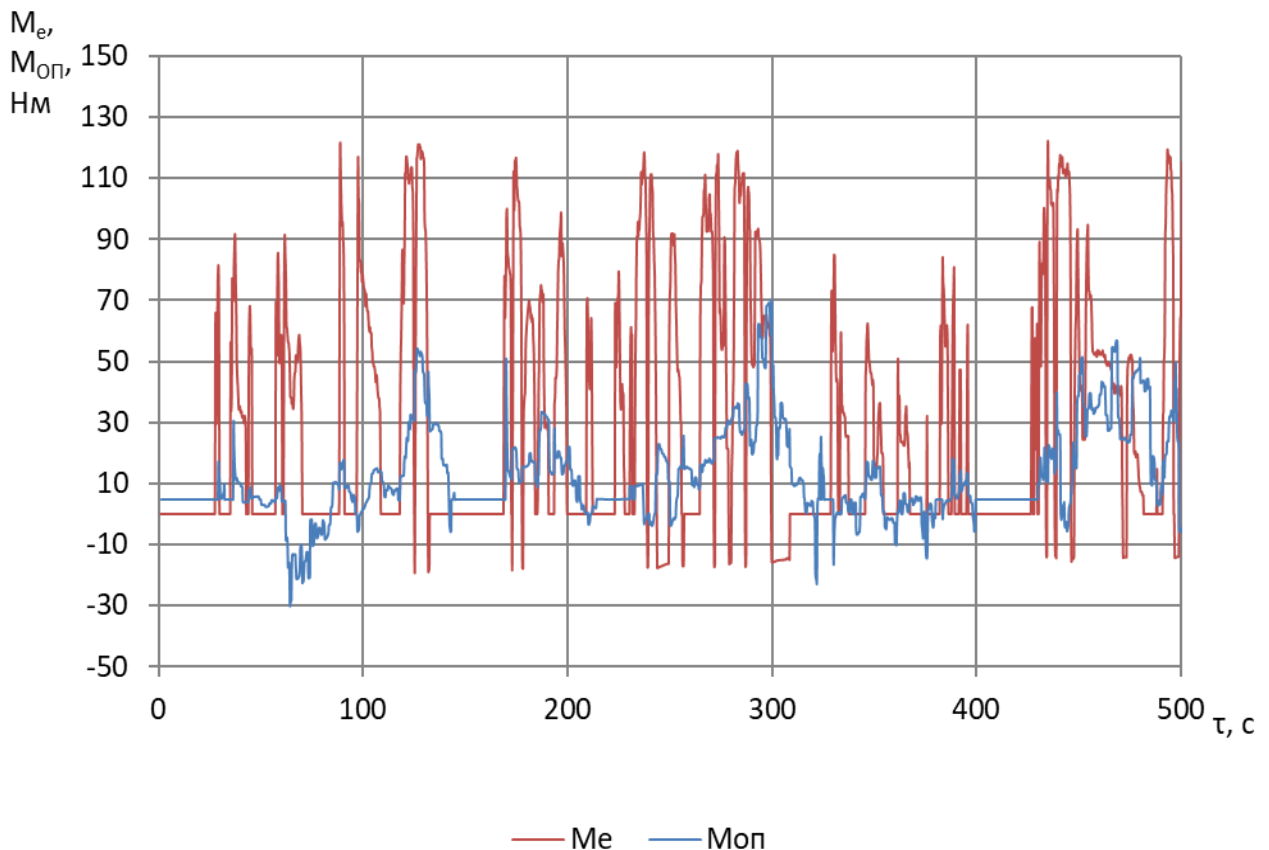


Рисунок 14 – Фрагмент поточних даних щодо моменту опору та крутного моменту на валу двигуна під час руху КТЗ на маршруті

Дослідження впливу алгоритму управління КТЗ на витрати енергії і викиди шкідливих речовин проведено шляхом моделювання цих показників під час руху КТЗ (ВАЗ-21101) на дослідному маршруті. Досліджено п'ять варіантів системи управління: базовий алгоритм управління (режимом роботи енергоустановки та трансмісії КТЗ управляє водій самостійно); доцільне управління навантаженням ЕУ (навантажувальний режим роботи енергоустановки визначається системою управління в результаті аналізу поточних умов руху КТЗ); доцільне управління навантаженням та тепловим станом ЕУ (тепловий та навантажувальний режим роботи енергоустановки визначається системою управління в результаті аналізу поточних умов руху КТЗ); доцільне управління швидкістю та навантаженням ЕУ (визначається доцільний швидкісний режим руху КТЗ); доцільне управління швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ.

Як видно, із прикладу представлених результатів дослідження за показником пробігових викидів CO_2 (рис. 15), досягнення бажаного значення викидів CO_2 при оптимізації управління навантажувальним режимом ЕУ спостерігається на 800-й с. Оптимізація теплового стану ЕУ дозволяє досягти бажаного значення викидів CO_2 з 720-ї с. При цьому, оптимізація швидкісного навантажувального та теплового режимів ЕУ дозволяє досягти бажаних пробігових викидів CO_2 практично на усьому маршруті, починаючи з 250-ї с.

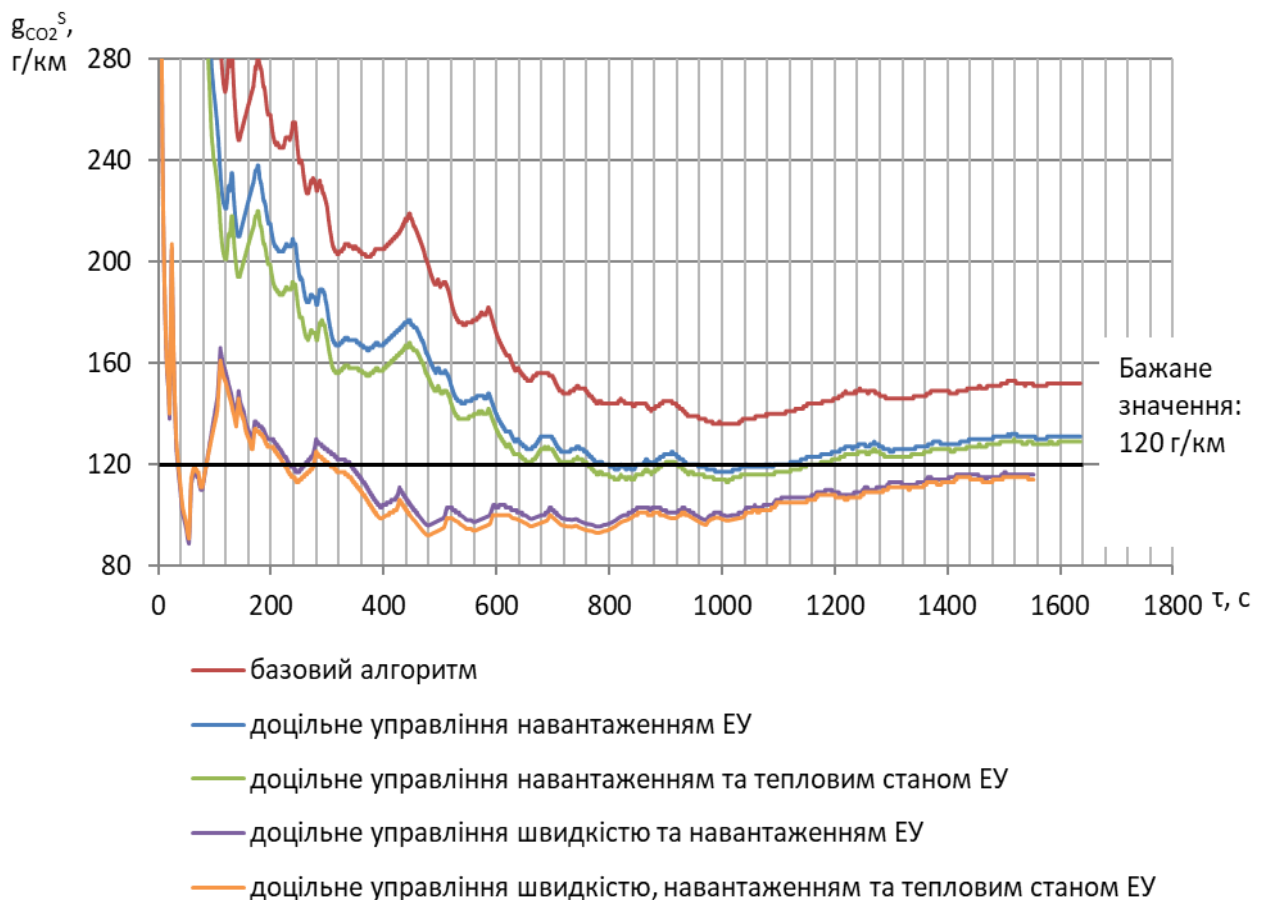


Рисунок 15 – Вплив алгоритму управління на пробігові викиди CO_2 під час руху КТЗ (ВАЗ-21101) на дослідному маршруті

В цілому, оптимізація управління технічним станом та режимами руху КТЗ (ВАЗ-21101) дозволяє поліпшити економічність на 13,8-24,7 % (рис. 16), викиди CO_2 знизити на 13,7-24,7 %, викиди CO – на 8,3-23,4 %, викиди C_mH_n – на 8,2-19,5 %, викиди NO_x – на 8,3-40,7 %.

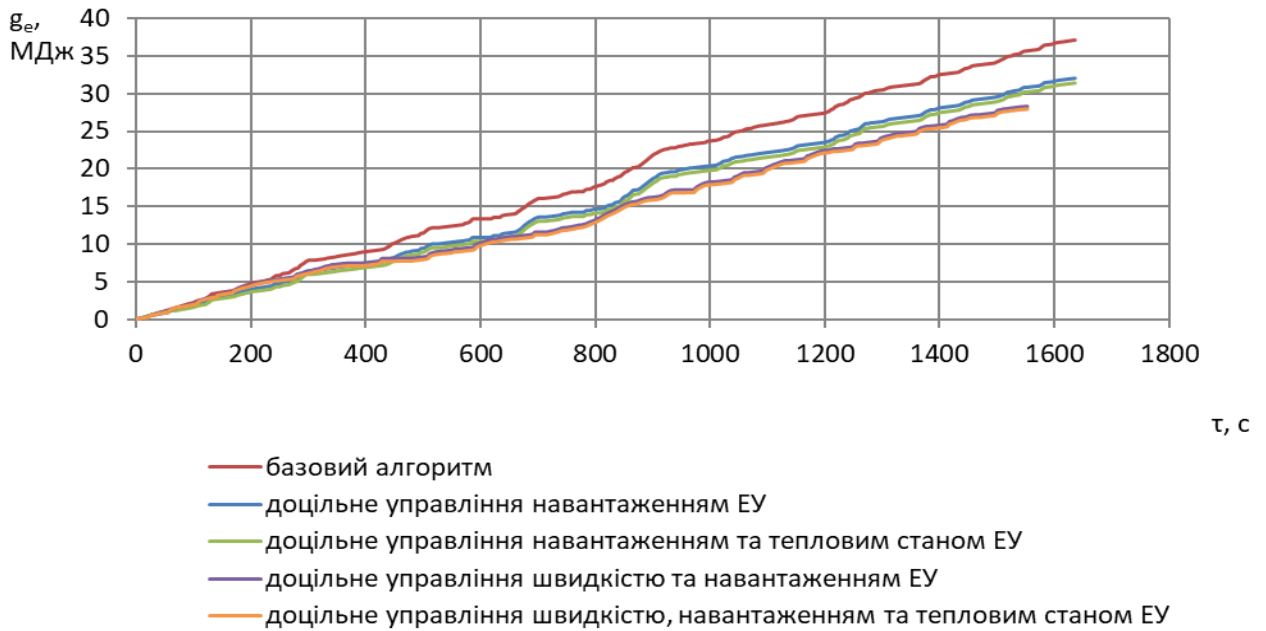


Рисунок 16 – Вплив алгоритму управління КТЗ (ВАЗ-21101) на витрату енергії

Дослідження впливу алгоритму управління КТЗ (ВАЗ-21101) на інтегральний критерій ефективності КТЗ приведено на рис. 17. Встановлено, що оптимізація управління навантаженням ЕУ збільшує інтегральний критерій ефективності з 0,67 до 0,77 (на 14,9 %), навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 0,79 (на 17,9 %), швидкістю та навантаженням ЕУ – до 0,87 (на 30 %), швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 0,88 (на 31,3 %).

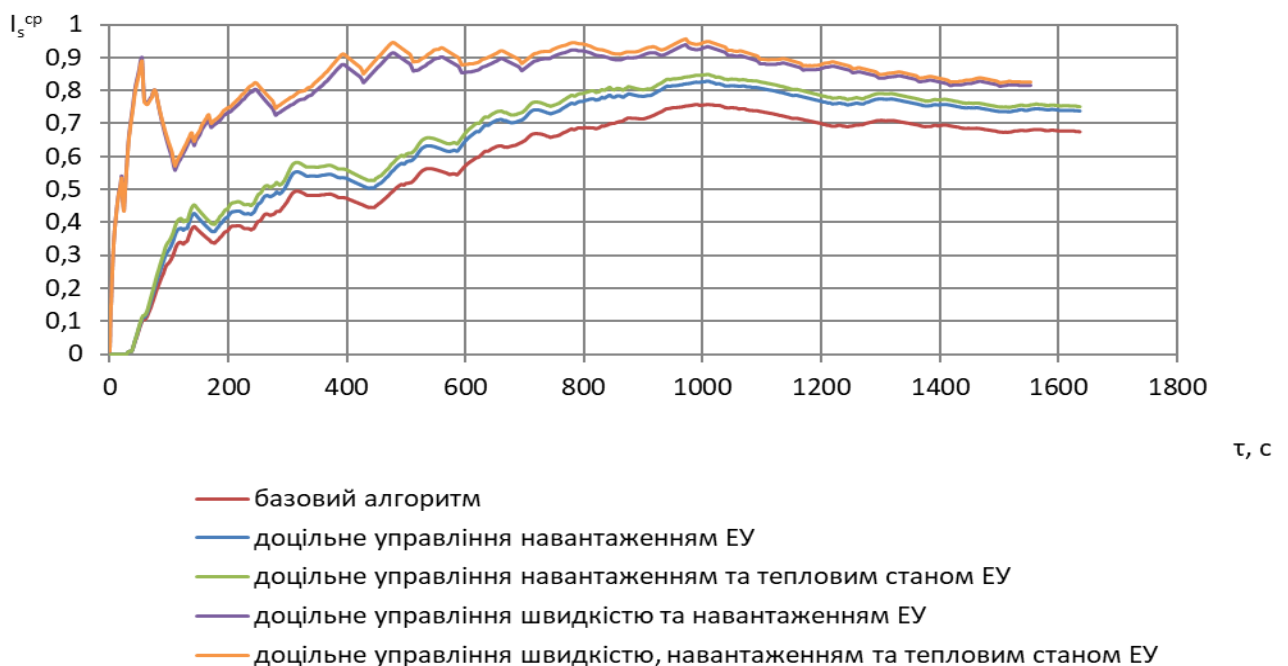


Рисунок 17 – Оцінювання алгоритмів управління КТЗ (ВАЗ-21101) за інтегральним критерієм

Використання інтегрального критерію ефективності експлуатації КТЗ у поєднанні із інформаційною системою управління на базі бортових ІПК дозволяє здійснювати визначення доцільного маршруту руху КТЗ у визначених інфраструктурних умовах. З цією метою, інформаційна географічна підсистема спочатку визначає можливі маршрути руху у визначений пункт призначення, згідно із завданням оператора, а потім оцінює їх доцільність за інтегральним критерієм. На значення інтегрального критерію впливають параметри управління КТЗ в інфраструктурних умовах оцінюваних маршрутів. Система здійснює моделювання з урахуванням діючих обмежень швидкості та розташування елементів інфраструктурного середовища (координат розташування світлофорів, перехресть зі зміною напрямку руху, пішохідних переходів).

Як приклад, на рис. 18 представлено залежності інтегрального критерію для оцінюваних маршрутів від параметрів прискорення КТЗ категорії М1 (ВАЗ-21101) та частоти переключення передач.

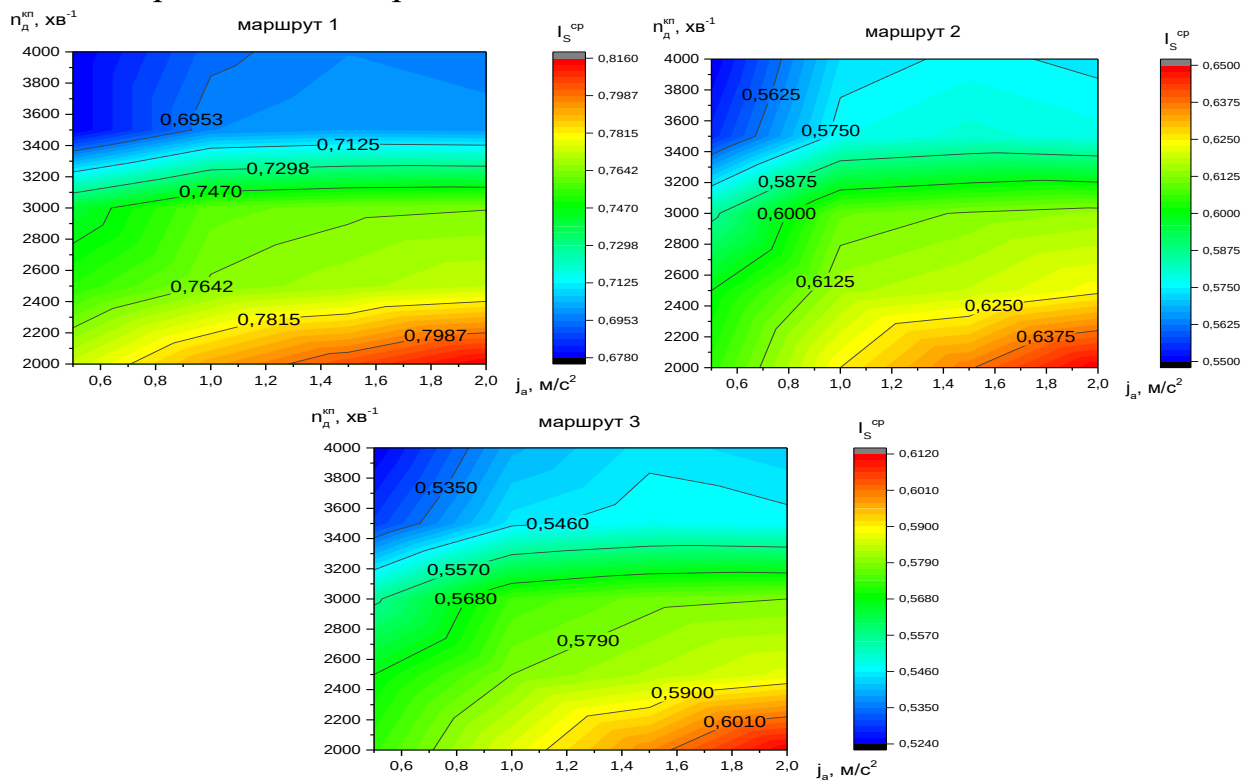


Рисунок 18 – Залежності інтегрального критерію від параметрів управління КТЗ на різних маршрутах

Як видно із представлених залежностей, найбільш доцільним є маршрут 1. При цьому, доцільні параметри управління КТЗ практично на всіх маршрутах близькі до значень прискорення $2,0 m/s^2$ та частоти переключення передач $2000 xv^{-1}$. Дані параметри управління КТЗ досягаються через управління енергоустановкою та трансмісією з використанням відповідного алгоритму (рис. 4).

Таким чином, в залежності від інфраструктурних умов руху КТЗ розроблена інформаційна система управління експлуатаційною ефективністю, яка дозволяє встановити доцільний режим руху, який досягається шляхом реалізації відповідного алгоритму управління КТЗ.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена розробці методів оцінювання та способів підвищення ефективності експлуатації КТЗ з сучасними енергоустановками шляхом управління технічним станом та режимами руху КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища на основі використання інтелектуальних телематичних технологій.

Запропоновані в дисертаційній роботі методи, моделі та алгоритми дозволяють формувати нові структури телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктури, управляти технічним станом та режимами руху для досягнення цільових показників продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ в експлуатаційних умовах.

Основні наукові і практичні результати досліджень.

1. Розвиток телематичних технологій на автомобільному транспорті створює нові можливості для підвищення ефективності експлуатації сучасних КТЗ. Поліпшення техніко-експлуатаційних показників КТЗ може бути досягнуто на основі безперервного розвитку телематичного забезпечення як самих КТЗ, так і інфраструктурного середовища. Це потребує нових підходів, які з системних позицій дозволили б розробити наукові методи оцінювання та способи підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ на основі використання інтелектуальних телематичних технологій.

2. Розроблено загальну методологію оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ з сучасними енергоустановками, в основі якої лежать функціональні, інформаційні та математичні моделі системи КТЗ-І, що дозволяють формувати алгоритми управління технічним станом та режимами руху КТЗ для досягнення цільових показників безпеки, продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища.

3. Запропоновано метод систематизації телематичного забезпечення системи КТЗ-І, який дозволяє аналізувати існуючі та формувати нові морфологічні структури системи, які розглядаються як способи підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ з удосконаленням телематичним забезпеченням основних функціональних елементів.

4. Запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-І та її функціональних елементів, який враховує рівень розвитку варіантів реалізації основних морфологічних ознак телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктури. Визначено морфологічні структури телематичного забезпечення системи КТЗ-І для дослідження, які поєднують варіанти різного рівня розвитку 17 морфологічних ознак функціональних елементів «КТЗ» та «Інфраструктура».

5. Розроблено алгоритм оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-І та її функціональних елементів за окремими критеріями динамічних, економічних та екологічних властивостей та інтегральними критеріями оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ.

6. Побудовано інформаційну модель системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора та характеристик інфраструктурного середовища в системі КТЗ-І, яка дозволила сформулювати інтелектуальні алгоритми управління технічним станом та режимами руху для досягнення заданих критеріїв ефективності експлуатації КТЗ

7. Удосконалено математичні моделі основних процесів системи КТЗ-І, які реалізують алгоритми управління тепловою підготовкою підсистем енергоустановки (двигуна та нейтралізатора) в режимі прогріву і режимами руху та визначають динамічні, економічні та екологічні показники КТЗ в окремих режимах, в їздовому циклі та на експлуатаційному маршруті.

8. Експериментальне дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ з сучасними енергоустановками в окремих режимах, їздових циклах та на реальних маршрутах, з використанням телематичних засобів, підтвердило адекватність математичних моделей. Порівняння розрахункових результатів з експериментальними даними показало, що відхилення не перевищують 3,4 % за витратою палива.

9. Досліджено на математичних моделях вплив параметрів управління технічним станом та режимами руху КТЗ з сучасними ЕУ на динамічні показники, витрату енергії і викиди КТЗ та визначено їх раціональні значення для формування інтелектуальних алгоритмів управління режимами руху в заданих умовах інфраструктурного середовища. Показано, що оптимізація управління швидкісним і навантажувальним режимом ЕУ дозволяє поліпшити економічність на 23,7 %, викиди CO_2 знизити на 23,8 %, викиди CO – на 11,2 %, викиди C_mH_n – на 15,7 %, викиди NO_x – на 40,7 %.

10. Визначено ефективність алгоритму управління тепловою підготовкою підсистем енергоустановки (двигуна та нейтралізатора) в режимі прогріву. Показано, що оптимізація теплового стану енергоустановки, у поєднанні із доцільним управлінням швидкісним і навантажувальним режимом, забезпечує поліпшення економічності на 24,7 %, викиди CO_2 знижує на 24,7 %, викиди CO – на 23,4 %, викиди C_mH_n – на 19,5 %, викиди NO_x – на 40,1 %. В цілому, оптимізація швидкості, навантаження та теплового стану енергоустановки збільшує інтегральний критерій експлуатаційної ефективності в умовах реального маршруту на 31,3 %.

11. Результати дисертаційної роботи прийняті до використання в Директораті цифрової інфраструктури на транспорті Міністерства інфраструктури України, ПРАТ «Західукртранс», ТОВ «АСКО-ЕКСПЕДИЦІЯ», ТОВ «АТП ЕЛІТ», ТОВ «Автобансервіс», ТОВ АТК «БОСС», ТОВ «Ежіс Україна». Матеріали роботи застосовуються в навчальному процесі Національного транспортного університету при підготовці бакалаврів, магістрів за спеціальностями 274 – Автомобільний транспорт, 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та належать до видань, що індексуються у Scopus і Web of Science.

1. Improving the processes of thermal preparation of an automobile engine with petrol and gas supply systems (Vehicle engine with petrol and LPG supplying systems) / I. Gritsuk, D. Pohorletskyi, V. Mateichyk, R. Symonenko, M. Tsiuman, M. Volodarets, N. Bulgakov, V. Volkov, V. Vychuzhanin, Y. Grytsuk, M. Ahieiev, I. Sadovnyk. // SAE Technical Paper 2020-01-2031. – 2020. (doi.org/10.4271/2020-01-2031).

2. Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger / A. Golovan, O. Sherstyuk, I. Honcharuk, I. Gritsuk, M. Ahieiev, D. Pohorletskyi, I. Khudiakov, V. Popeliuk, R. Symonenko, V. Saravas, M. Volodarets. // SAE International Journal of Engines. – 2020. – Vol. 13. – №1. – PP. 5–16. (doi:10.4271/03-13-01-0001).

3. The complex application of minitoring and express diagnosing for searching failures on common rail system units / I. Gritsuk, E. Zenkin, N. Bulgakov, A. Golovan, I. Kuric, V. Mateichyk, M. Saga, V. Vychuzhanin, R. Symonenko, E. Rabinovich, V. Pavlenko, D. Pohorletskyi. // SAE Technical Paper 2018-01-1773. – 2018. (doi:10.4271/2018-01-1773).

4. Information model of V2I system of the vehicle technical condition remote monitoring and control in operation conditions / I. Gritsuk, V. Volkov, V. Mateichyk, Y. Grytsuk, Y. Nikitchenko, D. Klets, M. Smieszek, Y. Volkov, R. Symonenko, A. Grytsuk. // SAE Technical Paper 2018-01-0024. – 2018. (doi:10.4271/2018-01-0024).

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та належать до наукових фахових видань України.

5. Симоненко Р. В. Оцінювання рівня розвитку телематичного забезпечення системи «Колісні транспортні засоби – інфраструктура» / Р. В. Симоненко. // Автошляховик України. – 2021. – №1. – С. 22–30. (doi: 10.33868/0365-8392-2021-1-265-22-30).

6. Симоненко Р.В. Особливості функціональних можливостей і телематичного забезпечення системи «Колісні транспортні засоби-інфраструктура» / Р.В. Симоненко. // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2020. – № 41. – С. 211–216. (doi: 10.31498/2225-6733.41.2020.226218).

7. Совершенствование процессов тепловой подготовки двигателя транспортного средства, оборудованого системами подачи бензина и сниженного нефтяного газа / И.В. Грицук, Д.С. Погорлецкий, Р.В. Симоненко, И.В. Худяков. // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2020. – №1. – С. 36–44. (doi: 10.20998/0419-8719.2020.1.05).

8. Особливості дистанційної ідентифікації режимів праці та відпочинку водія в системі інформаційного моніторингу транспортних засобів / Худяков І.В., Симоненко Р.В., Грицук І.В., Матейчик В.П., Волков В.П., Білоусова Т.П., Володарець М.В. // Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – 2020. – №35. – С. 146–155.

9. Особливості формування системи дистанційного визначення працездатності та безпеки експлуатації транспортних засобів / І.В. Грицук, В.П. Волков, І.В. Худяков, Р.В. Симоненко, М.В. Володарець. // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. – 2019. – №19. Т – 4. – С. 298–309.
10. Особливості дослідження теплоенергетичних характеристик теплоакumuлюючого матеріалу для здійснення комбінованого прогріву гібридного транспортного засобу / В.П. Волков, І.В. Грицук, М.В. Володарець, Д.С. Погорлецький, Р.В. Симоненко. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2019. – №65. – С. 39–46.
11. Формування і аналіз інформаційної моделі предметної області моніторингу параметрів тахографа і трекера в системі технічного стану транспортного засобу / І.В. Грицук, Т.В. Макарова, Р.В. Симоненко, І.В. Худяков, В.В. Черненко. // Вісник машинобудування та транспорту. – 2019. – №2 (10). – С. 24–33. (doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-24-33).
12. Симоненко Р. В. Математична модель умовного руху автомобіля в режимах Європейського їздового циклу при використанні біогазу як моторного палива / Р. В. Симоненко, С. І. Шиманський. // Machinery & Energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine. – 2019. – Vol. 10. – №2. – С. 81–85.
13. Особливості структури і взаємозв'язку функціональних можливостей бортового інформаційного комплексу для забезпечення інформаційного обміну між елементами ITS транспортного засобу / В.П. Волков, І.В. Грицук, Р.В. Симоненко, Ю.В. Грицук, Ю.В. Волков // Вісник НТУ. – 2017. – №3 (39). – С. 21–31.
14. Удосконалення газової паливної апаратури двигуна автомобіля при роботі на стисненому природному газі / А.Г. Говорун, Р.В. Симоненко, С.І. Шиманський, К.С. Колобов. // Вісник НТУ. – 2017. – №1 (37). – С. 63–67.
15. Особливості показників автомобільного двигуна при роботі в несталих режимах на стисненому природному газі / А.Г. Говорун, О.А. Клименко, Р.В. Симоненко, М.Б. Назаренко, С.І. Шиманський. // Автошляховик України. – 2017. – №1 – 2. – С. 41 – 44.
16. Використання біогазу як моторного палива / С.І. Шиманський, Р.В. Симоненко, Л.П. Мержиєвська, А.Г. Говорун. // Автошляховик України. – 2013. – №6. – С. 13–15.
17. Обґрунтування доцільності переведення легкового автомобіля з бензиновим двигуном на зріджений нафтовий газ завдяки встановленню сучасної системи подачі газу / І.В. Манько, Р.В. Симоненко. // Автошляховик України. – 2013. – №6. – С. 2–4.
18. Розширення паливної бази автомобільного транспорту використанням біогазу як моторного палива / С.І. Шиманський, Р.В. Симоненко, М.Б. Назаренко, А.Г. Говорун. // Автошляховик України. – 2013. – №3. – С. 2–5.
19. Вплив виду палива на його витрату при русі автомобіля за європейським міським їздовим циклом / І.В. Манько, О.А. Клименко, Р.В. Симоненко, О.В. Кудренко. // Вісник НТУ. – 2012. – №25. – С. 259 – 262.

20. Управління екологічною безпекою транспортних потоків міста / Р.В. Олійник, Р.В. Симоненко, С.О. Никонович, А.І. Риль. // Вісник НТУ. – 2011. – №22. – С. 53–58.

21. До оцінки забруднення довкілля транспортними засобами на окремих етапах життєвого циклу / В.П. Матейчик, Р.В. Симоненко, С.В. Коломієць, Н. М. Горідько. // Вісник НТУ. – 2010. – №21. Ч. 2 – С. 33 –37.

22. Стан та перспективи розвитку національної системи оцінювання відповідності транспортних засобів міжнародних перевізників вимогам Резолюції ЄКМТ / А.М. Редзюк, В.Б. Агеєв, В.С. Устименко, С.О. Ковальов, В.М. Бродяньський, Р.В. Симоненко, Є.В. Кияшко. // Автошляховик України. – 2005. – Окремий випуск. – С. 17–22.

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та належать до наукових закордонних видань.

23. Information support peculiarities of the system “Vehicle – infrastructure” / V. Mateichyk, R. Symonenko, V. Volkov, I. Gritsuk, M. Bulgakov // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Efektywnosc I bezpieczenstwo: Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. – 2020. – № 20. – С. 85–92.

24. Особливості дистанційної ідентифікації режимів роботи водія в інформаційній системі моніторингу транспортного засобу / І.Грицук, В. Матейчик, Р. Симоненко, І. Худяков. // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Efektywnosc I bezpieczenstwo: Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. – 2019. – №19. – С. 7–15.

25. Improving the vehicular engine pre-start and after-start heating by using the combined heating system / I. Gritsuk, V. Mateichyk, M. Smieszek, V. Volkov, Y. Gutarevych, V. Aleksandrov, R. Symonenko and V. Verbovskiy. // HVAC System. – 2018. (doi: 10.5772/intechopen.79467).

26. Спосіб зменшення викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами при роботі двигуна на суміші стисненого природного газу та біогазу / S. Shymanskyi, A. Novorun, R. Symonenko. // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Badania i technologia silników spalinowych: Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. – 2018. – №13. – С. 89 – 94.

Монографії.

27. Особливості формування та аналізу інформаційних структур системи моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів у взаємодії з тахографом / І. Худяков, В. Манжелей, Р. Симоненко, В. Черненко // Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики / І. Худяков, В. Манжелей, Р. Симоненко, В. Черненко. – Херсон: ХДМА, 2019. – (монографія). – С. 250–259.

28. Основи функціонування систем теплової підготовки транспортних засобів / І.В. Грицук, В.П. Волков, Р.В. Симоненко, Т.В. Волкова. – Херсон: Олді-плюс, 2020. – 314 с. – (монографія).

29. Инновационные технологии в технической эксплуатации автомобилей / В.П. Волков, И.В. Грицук, В.П. Матейчик, Ю.В. Грицук, Р.В. Симоненко. – Костанай: ТОО «New Line Media», 2021. – 316 с. – (монографія).

Авторські свідоцтва та патенти на корисну модель.

30. Загальна модель системи моніторингу та особливості систематизації схем інформаційної системи моніторингу автомобіля в умовах експлуатації. / Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Матейчик В.П., Волкова Т.В., Краснокутська З.І., Вольська О.М., Симоненко Р.В., Володарець М.В., Садовник І.І., Покшевніцька Т.В., Грицук А.І., Вербовська В.В., Грицук В.Ю., Ченцов А.В. № 75503, від 22.12.2017.

31. Алгоритм проведення дистанційного діагностування технічного стану транспортного засобу в процесах експлуатації в умовах ITS. / Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Матейчик В.П., Волкова Т.В., Краснокутська З.І., Вольська О.М., Симоненко Р.В., Володарець М.В., Садовник І.І., Покшевніцька Т.В., Грицук А.І., Вербовська В.В., Грицук В.Ю., Ченцов А.В. № 75505, від 22.12.2017.

32. Система для забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згоряння. / Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Білоусов Є.В., Курносенко Д.В., Вербовський В.С., Володарець М.В., Симоненко Р.В. № 126804, Бюлетень № 13, від 10.07.2018.

33. Система дистанційного контролю, визначення працездатності та безпеки експлуатації транспортних засобів. / Грицук І.В., Худяков І.В., Симоненко Р.В., Полив'янчук А.П., Володарець М.В., Погорлецький Д.С., Черненко В.В., Манжелей В.С., Дзигар А.К. № 144719, Бюлетень № 20 від 26.10.2020.

Публікації, які засвідчують апробацію дисертації.

34. Симоненко Р. В., Крук С. В. До обґрунтування вибору телематичних засобів для підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів.: LXXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, м. Київ. НТУ, 2021. С. 79.

35. Матейчик В. П., Цюман М. П., Симоненко Р. В., Калюжний В.В. Системний підхід до оцінювання експлуатаційної ефективності транспортних засобів.: 15 Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків, м. Львів. 2021. С. 2.

36. Симоненко Р. В., Матейчик В. П., Грицук І. В. Особливості формування телематичного забезпечення системи «Колісні транспортні засоби – інфраструктура». «*Marine Power Plants and Operation 2021*»: науково-практична конф., м. Одеса. 2021. С. 455–461.

37. Симоненко Р. В., Колінченко Ю. П., Шиманський С. І. Розвиток інтелектуальних транспортних систем України. «*Безпека та екологія на дорожньому транспорті*»: науково-практична конф., м. Київ. ДП «ДержавтотрансНДПроект», 2020. С. 10–11.

38. Особенности информационной системы дистанционного мониторинга процессов тепловой подготовки двигателя транспортного средства, работающего на бензине и газовом топливе / Д.С. Погорлецкий, И.В. Грицук, Р.В. Симоненко, И.В. Худяков. «*Автомобиле- и тракторостроение*»: материалы международной научно-практической конференции, м. Минск. БНТУ, 2020. С. 101–108.

39. Information and analytical system to monitor operating processes and environmental performance of vehicle propulsion systems / V Mateichyk, M Saga, M Smieszek, M Tsiuman, N Goridko, I Gritsuk, R Symonenko. *Materials Science and Engineering*: 24th Slovak-Polish International Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations, Liptovský Ján. 2020.

40. The use of digital technologies to provide condition monitoring and modes of vehicle operation / I. Gritsuk, A. Kagramanian, I. Khudiakov, A. Pinchuk, R. Symonenko, O. Hrytsuk. *ICTE in Transportation and Logistics 2019*: Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. 2020. P. 137–144. (doi:10.1007/978-3-030-39688-6).

41. Особливості теплової підготовки і моніторингу процесів експлуатації двигунів транспортних засобів, працюючих на зрідженому газовому паливі / І.В., Грицук Д.С. Погорлецький, Р.В. Симоненко, М.В. Володарець, І.В. Худяков. *«Автомобільний транспорт та інфраструктура»*: II міжнар. науково-практична конф., м. Київ. НУБіП, 2019. С. 97–100.

42. Худяков І. В., Володарець М. В. Симоненко Р. В. Адаптація інформаційного програмного комплексу експлуатації транспортного засобу для роботи у системі дистанційного моніторингу. *«Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування»*: матеріали 9-ї міжнар. науково-практичної конф., м. Херсон. ХДМА, 2019. С. 99–103.

43. Система дистанційного моніторингу комплексу експлуатації транспортного засобу / І.В. Худяков, В.С. Манжелей, А.І. Сатулов, Р. В. Симоненко. *«Новітні технології розвитку автомобільного транспорту»*: міжнар. науково-практична конф., м. Харків. ХНАДУ, 2018. С. 192–194.

44. Особливості отримання даних про параметри технічного стану і DID транспортних засобів в умовах експлуатації при виконанні дистанційного моніторингу і діагностування / І.В. Грицук, В.П. Матейчик, М. Smieszek, M. Saga, I. Kugic, Р. В. Симоненко. *«Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування»*: матеріали 9-ї міжнар. науково-практичної конф., м. Херсон. ХДМА, 2018. С. 42–46.

45. Особливості формування моделі системи моніторингу транспортного засобу в умовах експлуатації / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.В. Грицук, Ю.В. Волков, Р.В. Симоненко, Д.В. Курносенко, В.П. Матейчик. *«Автомобіль і електроніка. Сучасні технології»*: матеріали V міжнар. науково-технічної інтернет-конф., м. Харків. ХНАДУ, 2017. С. 85–87.

АНОТАЦІЯ

Симоненко Р.В. Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій. — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» — Національний транспортний університет, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розробці методів оцінювання та способів підвищення ефективності експлуатації КТЗ з сучасними енергоустановками шляхом управління технічним станом та режимами руху КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища на основі використання інтелектуальних телематичних технологій.

Запропоновано методи, моделі та алгоритми, що дозволяють формувати нові структури телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктури, управляти технічним станом і режимами руху для досягнення цільових показників продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ в експлуатаційних умовах.

Розроблено загальну методологію оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ з сучасними енергоустановками, в основі якої лежать функціональні, інформаційні та математичні моделі системи КТЗ-І.

Запропоновано метод систематизації телематичного забезпечення системи КТЗ-І, який дозволяє аналізувати існуючі та формувати нові морфологічні структури системи.

Запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-І та її функціональних елементів, який враховує рівень розвитку варіантів реалізації основних морфологічних ознак телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктури.

Розроблено алгоритм оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-І та її функціональних елементів за окремими критеріями динамічних, економічних та екологічних властивостей та інтегральними критеріями.

Побудовано інформаційну модель системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора та характеристик інфраструктурного середовища в системі КТЗ-І.

Удосконалено математичні моделі основних процесів системи КТЗ-І.

Проведено експериментальне дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ з сучасними енергоустановками в окремих режимах, їздових циклах та на реальних маршрутах.

Досліджено на математичних моделях вплив параметрів управління тепловим станом та режимами руху КТЗ з сучасними ЕУ на динамічні показники, витрату енергії та викиди КТЗ та визначено їх раціональні значення для формування інтелектуальних алгоритмів управління режимами руху в заданих умовах інфраструктурного середовища.

Ключові слова: колісний транспортний засіб, інфраструктура, телематичне забезпечення, експлуатаційна ефективність, енергоефективність, екологічність, система моніторингу, інформаційна модель, математична модель.

АННОТАЦИЯ

Симоненко Р.В. Повышение эффективности эксплуатации колесных транспортных средств на основе интеллектуальных телематических технологий. — Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта» – Национальный транспортный университет, Киев, 2021.

Диссертационная работа посвящена разработке методов оценки и способов повышения эффективности эксплуатации колесных транспортных средств (КТС) с современными энергоустановками (ЭУ) путем управления техническим состоянием и режимами движения КТС в определенных условиях инфраструктурной среды на основе использования интеллектуальных телематических технологий.

Предложены методы, модели и алгоритмы, позволяющие формировать новые структуры телематического обеспечения КТС и инфраструктуры, управлять техническим состоянием и режимами движения для достижения целевых показателей производительности, энергоэффективности и экологичности КТС в эксплуатационных условиях.

Разработана общая методология оценки эксплуатационной эффективности КТС с современными энергоустановками, в основе которой лежат функциональные, информационные и математические модели системы «КТС - Инфраструктура», позволяющие формировать алгоритмы управления техническим состоянием и режимами движения КТС для достижения целевых показателей производительности, энергоэффективности и экологичности КТС в определенных условиях инфраструктурной среды.

Предложен метод систематизации телематического обеспечения системы «КТС - Инфраструктура», который позволяет анализировать существующие и формировать новые морфологические структуры системы, которые рассматриваются как способы повышения эксплуатационной эффективности КТС с усовершенствованным телематическим обеспечением основных функциональных элементов.

Предложен метод определения уровня развития телематического обеспечения системы «КТС - Инфраструктура» и ее функциональных элементов, учитывающий уровень развития вариантов реализации основных морфологических признаков телематического обеспечения КТС и инфраструктуры. Определены морфологические структуры телематического обеспечения системы «КТС - Инфраструктура» для исследования, которые сочетают варианты разного уровня развития 17 морфологических признаков функциональных элементов «КТС» и «Инфраструктура».

Разработан алгоритм оценки эксплуатационной эффективности КТС в зависимости от уровня развития телематического обеспечения системы «КТС - Инфраструктура» и ее функциональных элементов по отдельным критериям динамических, экономических и экологических свойств и интегральными критериями оценки эксплуатационной эффективности КТС.

Построена информационная модель системы мониторинга параметров технического состояния КТС, режимов работы оператора и характеристик инфраструктурной среды в системе «КТС - Инфраструктура», которая позволила сформировать интеллектуальные алгоритмы управления техническим состоянием и режимами движения для достижения заданных критериев эффективности эксплуатации КТС.

Усовершенствованы математические модели основных процессов системы «КТС - Инфраструктура», которые реализуют алгоритм управления тепловой подготовкой подсистем ЭУ, в режиме прогрева и алгоритмы управления режимами движения, и определяют динамические, экономические и экологические показатели КТС в отдельных режимах, в ездовом цикле и на эксплуатационном маршруте.

Проведено экспериментальное исследование динамических, экономических и экологических показателей КТС с современными ЭУ в отдельных режимах, ездовых циклах и на реальных маршрутах с использованием телематических средств, которое подтвердило адекватность математических моделей. Сравнение расчетных результатов с экспериментальными данными показало, что отклонения не превышают 3,4% за расходом топлива.

Исследовано на математических моделях влияние параметров управления техническим состоянием и режимами движения КТС с современными ЭУ динамические показатели, расход энергии и выбросы КТС и определена их рациональные значения для формирования интеллектуальных алгоритмов управления режимами движения в заданных условиях инфраструктурной среды. Показано, что оптимизация управления скоростным и нагрузочным режимом ЭУ позволяет улучшить экономичность на 23,7%, выбросы CO_2 снизить на 23,8%, выбросы CO - на 11,2%, выбросы C_mH_n - на 15,7%, выбросы NO_x - на 40,7%.

Определена эффективность алгоритма управления тепловой подготовкой подсистем энергоустановки в режиме прогрева. Показано, что оптимизация теплового состояния энергоустановки в сочетании с целесообразным управлением скоростным и нагрузочным режимом обеспечивает улучшение экономичности на 24,7%, выбросы CO_2 снижает на 24,7%, выбросы CO - на 23,4%, выбросы C_mH_n - на 19,5 %, выбросы NO_x - на 40,1%. В целом, оптимизация скорости, нагрузки и теплового состояния энергоустановки увеличивает интегральный критерий эффективности в условиях реального маршрута на 31,3%.

Ключевые слова: колесное транспортное средство, инфраструктура, телематическое обеспечение, эксплуатационная эффективность, энергоэффективность, экологичность, система мониторинга, информационная модель, математическая модель.

ABSTRACT

Symonenko R.V. Improving the operational efficiency of wheeled vehicles based on intelligent telematics technologies. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis for the scholarly degree of the Doctor of Technical Sciences, Specialty 05.22.20 "Operation and repair of vehicles" - National Transport University, Kyiv, 2021.

The thesis is devoted to the development of evaluation methods and ways to increase the operational efficiency of wheeled vehicles with modern power units by controlling the technical condition and driving modes of wheeled vehicles in certain conditions of the infrastructure environment based on the use of intelligent telematics technologies.

The research suggests methods, models and algorithms that allow to form new structures of telematics support for wheeled vehicles and infrastructure, manage the technical condition and driving modes to achieve, energy efficiency and environmental friendliness targets of wheeled vehicles in operational conditions.

A general methodology for evaluating operational efficiency of wheeled vehicles with modern power units has been developed. It is based on functional, information, and mathematical model of the Wheeled Vehicle – Infrastructure (WV-I) system.

A systematization method of telematics support of the WV-I system is proposed. It allows to analyze the existing and form new morphological structures of the system.

A method for determining the development level of telematics support of the WV-I system and its functional elements is proposed. It takes into account the development level of implementation options of the main morphological features of telematics support of wheeled vehicles and infrastructure.

The research developed an algorithm for evaluating the operational efficiency of the wheeled vehicles depending on the development level of telematics support of the WV-I and its functional elements according to individual criteria of dynamic, economic, and environmental qualities and integrated criteria.

The information model of the monitoring system of the parameters of the wheeled vehicles technical condition, operator operating modes, and the characteristics of the infrastructure environment in the WV-I system has been built.

Mathematical models of the main processes of the WV-I system have been improved.

An experimental research of the dynamic, economic, and environmental indicators of wheeled vehicles with modern power units in particular modes, driving cycles and on real routes has been held.

The influence of control parameters of thermal condition and driving modes of wheeled vehicles with modern power units on dynamic indicators, energy consumption and emissions of wheeled vehicles has been studied on mathematical models. Their rational values for the development of intelligent algorithms for driving modes management in given conditions of infrastructure environment have been determined.

Key words: wheeled vehicle, infrastructure, telematics support, operational efficiency, energy efficiency, environmental friendliness, monitoring system, information model, mathematical model.

Підписано до друку 25.08.2021 р. Формат 60х84^{1/16}. Папір
офсетний. Гарнітура Times. Ум. друк. арк. 2,32 Олл.-вид.арк. 2,5
Наклад 100. Зам. 79

Поліграфічний центр АТ «ПТІ «Київоргбуд».
01010, Україна, Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 4/6, тел.
+(38 044) 280 91 13