МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Симоненко Роман Вікторович

УДК 629.331:504.064.36

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

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____Р.В. Симоненко

Науковий консультант –
Матейчик Василь Петрович,
доктор технічних наук, професор

Ідентичність усіх примірників дисертації засвідчую Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д26.059.03
_____ С.В.Ковбасенко

Київ – 2021

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.

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 безпеки, продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ в експлуатаційних умовах.

Основні наукові і практичні результати досліджень полягають у наступних положеннях.

Розвиток телематичних технологій на автомобільному транспорті створює нові можливості для підвищення ефективності експлуатації сучасних КТЗ. Поліпшення техніко-експлуатаційних показників КТЗ може бути досягнуто тільки 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.

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

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

Запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ-Інфраструктура» 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-Інфраструктура» для дослідження, які поєднують варіанти різного рівня розвитку 17 морфологічних ознак функціональних елементів «КТЗ» та «Інфраструктура».

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

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

Удосконалено математичні моделі основних процесів системи «КТЗ-Інфраструктура», 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.

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.

Досліджено на математичних моделях вплив параметрів управління технічним 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. 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 %.

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 ефективності в умовах реального маршруту на 31,3 %.

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-І, 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 удосконаленим 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-І 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.

Ключові слова: експлуатаційна ефективність, колісний транспортний засіб, енергоустановка, тепловий стан, інформаційна система, математична модель, енергоефективність, екологічність, продуктивність.

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 теплоакумулюючого 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. Бродянський, 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. Hovorun, 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., Покшевницька 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., Покшевницька 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 «ДержавтотрансНДІпроект», 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»* : ІІ 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, M. Smieszek, M. Saga, I. Kuric, 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.

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 dissertation 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 safety, efficiency, energy efficiency and environmental friendliness targets of wheeled vehicles in operational conditions.

The main scientific and practical results of the research are as follows.

The development of telematics technologies in road transport creates new opportunities to increase the efficiency of modern wheeled vehicles. The improvement of technical and operational indicators of wheeled vehicles can be achieved only on the basis of continuous development of telematics support for both vehicles and infrastructure environment. This requires new approaches, that from a system point of view would allow to develop scientific methods of assessment and ways to increase the operational efficiency of wheeled vehicles based on the use of intelligent telematics technologies.

A general methodology for evaluating operational efficiency of wheeled vehicles with modern power units has been developed. It is based on functional, informational, and mathematical model of the “Wheeled vehicle – Infrastructure” system, that allow to form management algorithms for technical condition and driving modes of wheeled vehicles to achieve target indicators of safety, efficiency, energy efficiency and

environmental friendliness of wheeled vehicles in certain conditions of an infrastructural environment.

A systematization method of telematics support of the “Wheeled vehicle – Infrastructure” system is proposed. It allows to analyse the existing and form new morphological structures of the system, that are considered as ways to increase the operational efficiency of wheeled vehicles with advanced telematics support for main functional elements.

A method for determining the development level of telematics support of the “Wheeled vehicle – Infrastructure” 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 morphological structures of telematics support of the “Wheeled vehicle – Infrastructure” system for research are determined. They combine options of different development levels of 17 morphological features of “Wheeled vehicles” and “Infrastructure” functional elements.

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 for operational effectiveness of wheeled vehicles.

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 “Wheeled vehicle - Infrastructure” system has been built. This allowed to form intelligent algorithms of technical condition and driving modes control to achieve the set criteria of efficiency of wheeled vehicles operation.

Mathematical models of the main processes of the “Wheeled vehicle - Infrastructure” system have been improved. They implement algorithms for controlling the thermal preparation of power unit subsystems (engine and neutralizer) in the heating mode as well as driving modes, and determine the dynamic, economic and environmental

performance of wheeled vehicles in certain modes, in the driving cycle and on the operational route.

Experimental study of dynamic, economic and environmental wheeled vehicles indicators with modern power units in certain modes, driving cycles and on real routes, using telematics, confirmed the adequacy of mathematical models. Comparison of the calculated results with experimental data showed that the deviations do not exceed 3.4% in fuel consumption.

The influence of control parameters of technical 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. It is shown that the optimization of speed and load modes control of the power units can improve efficiency by 23.7%, and reduce CO2 emissions by 23.8%, CO emissions - by 11.2%, CmHn emissions - by 15.7%, NOx emissions - by 40.7%.

The efficiency of the algorithm for the thermal preparation control of the power unit subsystems (engine and neutralizer) in the heating mode has been determined. It is shown that the optimization of the thermal state of the power unit, in combination with the appropriate speed and load control modes, improves efficiency by 24.7%, and reduces CO2 emissions by 24.7%, CO emissions - by 23.4%, CmHn emissions - by 19 , 5%, NOx emissions - by 40.1%. In general, the optimization of the speed, load and thermal state of the power unit increases the integrated efficiency criterion in the real route conditions by 31.3%.

The scientific novelty of the obtained results includes:

- *for the first time* the general methodology of operational efficiency assessment of wheeled vehicles with modern power units is developed from the system point of view. It is based on functional, informational and mathematical models of Wheeled vehicle – Infrastructure system, that allow to form algorithms of technical condition and driving modes control of wheeled vehicles for achievement of target indicators of efficiency,

energy efficiency and ecological friendliness of wheeled vehicles in the certain conditions of an infrastructural environment;

- *for the first time* the systematization method of telematics support of Wheeled vehicle - Infrastructure system is offered, which allows to analyze the existing morphological structures of the system and form new ones, that are considered as ways to increase operational efficiency of wheeled vehicles with improved telematics support of basic functional elements;

- *for the first time* we suggested a method of determining the development level of telematics support of the Wheeled vehicle - Infrastructure system and its functional elements, that takes into account the development level of options for implementing main morphological features of telematics support for the wheeled vehicles and infrastructure;

- *for the first time* we received the change regularities of dynamic, economic and ecological indicators of wheeled vehicles in operational modes depending on the development level of telematics support for Wheeled vehicle - Infrastructure system and its functional elements, as well as on realization of the offered algorithms of technical condition and traffic modes control in the given conditions of infrastructural environment;

- we *improved* the complex of separate criteria for assessing the dynamic, economic and environmental qualities of wheeled vehicles and integrated criteria for operational efficiency of wheeled vehicles in the Wheeled vehicle - Infrastructure system, that, unlike the existing ones, allows to assess the main performance qualities of wheeled vehicles in relation to a particular infrastructure environment, which increases the value of such assessment;

- we *improved* mathematical models of the main processes of the Wheeled vehicle - Infrastructure system, that implement the algorithm for the thermal preparation control of power unit subsystems (engine and neutralizer) in heating mode and algorithms for driving modes control, determine dynamic, economic and environmental indicators of wheeled vehicles in individual modes, driving cycle and operational route;

- *further development was given* to the methods of building an information model for monitoring the technical condition of the wheeled vehicles, operator's operating modes and characteristics of the infrastructure environment in the Wheeled vehicle –

Infrastructure system. This allowed to form intelligent algorithms for technical condition and traffic modes control to achieve the set criteria of wheeled vehicle operation.

The practical significance of the research results is:

- morphological structures of telematics support of the Wheeled vehicle – Infrastructure system, that combine different development levels options of 17 morphological features of functional elements "Wheeled vehicle" and "Infrastructure";

- algorithms for thermal preparation control of power units subsystems (engine and neutralizer) in the heating mode and algorithms to control driving modes of the wheeled vehicles in the driving cycle and on the operational route;

- the algorithm for the operational efficiency assessment of the wheeled vehicles depending on the development level of telematics support of the Wheeled vehicle – Infrastructure system and its functional elements, the implementation of the proposed algorithms for technical condition and modes control in the given conditions of the infrastructure environment;

- software implementation of mathematical models of the Wheeled vehicle – Infrastructure system to determine dynamic, economic and ecological indicators of wheeled vehicles in separate modes, in a driving cycle and on an operational route;

- quantitative values of dynamic, economic and ecological indicators of wheeled vehicles in operational modes depending on the development level of telematics support of the Wheeled vehicle – Infrastructure system and its functional elements;

- quantitative values of individual and integrated criteria for assessing the operational efficiency of wheeled vehicles in certain conditions of the infrastructure environment;

- recommendations for ensuring the efficiency, energy efficiency and environmental friendliness target indicators of wheeled vehicles in certain conditions of the infrastructure environment.

The results of the dissertation research were accepted for use in the Directorate of Digital Infrastructure for Transport of the Ministry of Infrastructure of Ukraine, "Zahidukrtrans" PJSC, "ASKO-EKSPEDYTSIIA" LLC, "ATP ELIT" LLC, "Avtobanservis" LLC, ATK "BOSS" LLC, "Egis Ukraiina" LLC.

Materials of the research are used in the educational process of the National Transport University in the preparation of bachelors and masters in specialties 274 - Road transport, 183 - Technologies for environmental protection.

Key words: operational efficiency, wheeled vehicle, power unit, thermal condition, information system, mathematical model, energy efficiency, environmental friendliness, efficiency.

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

Publications in which the main results of the dissertation are published and belong to the publications indexed in Scopus and 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. Kuris, 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).

Scientific professional publications of Ukraine in which the main results of the dissertation are published

5. Symonenko R.V. Assessment of the development level of telematics support of the system "Wheeled vehicles - infrastructure" / R.V. Symonenko. // Avtoshliakhovyk Ukrainy. - 2021. - №1. - P. 22–30. (doi: 10.33868 / 0365-8392-2021-1-265-22-30).

6. Symonenko R.V. Peculiarities of functional capabilities and telematics support of the "Wheeled vehicles-infrastructure" system / R.V. Symonenko. // Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. - 2020. - № 41. - P. 211–216. (doi: 10.31498 / 2225-6733.41.2020.226218).

7. Improvement of the engine thermal preparation processes of vehicle, equipped with gasoline and reduced oil gas supply systems / I.V. Hrytsuk, D.S. Pogorletskii, R.V. Symonenko, I. V. Khudiakov. // Dvyguny vnutrishnioho zhoriannia. - 2020. - No. 1. - P. 36–44. (doi: 10.20998 / 0419-8719.2020.1.05).

8. Peculiarities of remote identification of driver’s work and rest modes in the system of information monitoring of vehicles / Khudiakov I.V., Symonenko R.V., Hrytsuk I.V., Mateichyk V.P., Volkov V.P., Bilousova T.P., Volodarets M.V. // Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohii. - 2020. - No. 35. - P. 146-155.

9. Formation peculiarities of the remote system for determining efficiency and safety of vehicle’s exploitation / I.V. Hrytsuk, V.P. Volkov, I.V. Khudiakov, R.V.Symonenko, M.V.Volodarets // Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu imeni Dmytra Motornoho. - 2019. - №19. Vol.- 4. - P. 298–309.

10. Research peculiarities of thermal energy characteristics of heat-accumulating material for combined heating of a hybrid vehicle / V.P. Volkov, I.V. Hrytsuk, M.V. Volodarets, D.S. Pogorletskyi, R.V. Symonenko. // Mizhvuzivskyi zbirnyk “Naukovi notatky”. - 2019. - №65. - P. 39–46.

11. Formation and analysis of the information model of the subject area of the parameters monitoring of the tachograph and tracker in the system of technical condition of the vehicle / I.V. Hrytsuk, T.V. Makarova, R.V. Symonenko, I.V. Khudiakov, V.V.

Chernenko. // Visnyk mashynobuduvannia ta transportu. - 2019. - №2 (10). - P. 24–33. (doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-24-33).

12. Symonenko R.V. Mathematical model of conditional motion of a vehicle in modes of the European driving cycle when using biogas as a motor fuel / R.V. Symonenko, S.I. Shymanskyi. // Machinery & Energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine. - 2019. - Vol. 10. –№2. - P. 81–85.

13. Peculiarities of the structure and correlation of functional capabilities of the onboard information complex to ensure information exchange between the elements of the vehicle's ITS / V.P. Volkov, I.V.Hrytsuk, R.V. Symonenko, Yu.V. Hrytsuk, Yu.V. Volkov // Visnyk NTU. - 2017. - №3 (39). - P. 21–31.

14. Improving the gas fuel equipment of the vehicle engine when operating on compressed natural gas / A.H. Hovorun, R.V. Symonenko, S.I. Shymanskyi, K.S. Kolobov. // Visnyk NTU. - 2017. - №1 (37). - P. 63–67.

15. Peculiarities of vehicle engine indicator during operation in unstable modes on compressed natural gas / A.H. Hovorun, O.A. Klymenko, R.V. Symonenko, M.B. Nazarenko, S.I. Shymanskyi. // Avtoshliakhovyk Ukraiiny. - 2017. - №1 - 2. - P. 41 - 44.

16. The use of biogas as a motor fuel / S.I. Shymansksi, R.V. Symonenko, L.P. Merzhiievska, A.H. Hovorun. // Avtoshliakhovyk Ukraiiny. - 2013. - №6. - P. 13–15.

17. Expediency substantiation of conversion of a vehicle with a gasoline engine to liquefied petroleum gas by installing a modern gas supply system / I.V. Manko, R.V. Symonenko. // Avtoshliakhovyk Ukraiiny. - 2013. - №6. - P. 2–4.

18. Expansion of the fuel base of road transport using biogas as a motor fuel / S.I. Shymanskyi, R.V. Symonenko, M.B. Nazarenko, A.H. Hovorun. // Avtoshliakhovyk Ukraiiny. - 2013. - №3. - P. 2–5.

19. Influence of fuel type on its consumption when driving a car on the European urban driving cycle / I.V. Manko, O.A. Klymenko, R.V. Symonenko, O.V. Kudrenko. // Visnyk NTU. - 2012. - №25. - P. 259 - 262.

20. Ecological safety management of transport flows of the city / R.V. Oliinyk, R.V. Symonenko, S.O. Nykonovych, A.I. Ril. // Visnyk NTU. - 2011. - №22. - P. 53–58.

21. On assessment of the environment pollution by vehicles at certain stages of the life cycle / V.P. Mateichyk, R.V. Symonenko, S.V. Kolomiiets, N.M. Horidko. // Visnyk NTU. - 2010. - №21. Part 2 - P. 33 –37.

22. Status and prospects of development of the national system for assessing the compliance of international carriers' vehicles with the requirements of the ECMT Resolution / A.M. Redziuk, V.B. Aheiev, V.S. Ustymenko, S.O. Kovaliov, V.M. Brodianskyi, R.V. Symonenko, Ye.V. Kyiashko. // Avtoshliakhovyk Ukraiiny. - 2005. - Separate issue. - P. 17–22.

Publications in which the main results of the dissertation are published and which belong to scientific foreign publications.

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. Peculiarities of remote identification of driver's work modes in the information system of vehicle monitoring / I. Hrytsuk, V. Mateichyk, R. Symonenko, I. Khudiakov. // 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. The method of reducing emissions of nitrogen oxides from exhaust gases during engine operation on a mixture of compressed natural gas and biogas / S. Shymanskyi, A. Hovorun, R. Symonenko. // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Badania i technologia silników spalinowych: Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. – 2018. – №13. – P. 89 – 94.

Monographs.

27. Peculiarities of formation and analysis of information structures of the monitoring system of the vehicles technical condition parameters in correlation with the tachograph / I. Khudiakov, V. Manzhelei, R. Symonenko, V. Chernenko // Systems and means of transport. Issues of operation and diagnostics / I. Khudiakov, V. Manzhelei, R. Symonenko, V. Chernenko. - Kherson: KhDMA, 2019. - (monograph). - P. 250–259.

28. Fundamentals of functioning of thermal preparation systems of vehicles / I.V. Hrytsuk, V.P. Volkov, R.V. Symonenko, T.V. Volkova. - Kherson: Oldi-plus, 2020. - 314 p. - (monograph).

29. Innovative technologies in the vehicle technical exploitation / V.P. Volkov, I. V. Hrytsuk, V.P. Mateichyk, Yu.V. Hrytsuk, R.V. Symonenko. - Kostanai: "New Line Media" TOO, 2021. - 316 p. - (monograph).

Author's certificates and patents for the utility model.

30. General model of the monitoring system and systematization features of schemes of the information system of vehicle monitoring in the operation conditions. / Volkov V.P., Hrytsuk I.V., Hrutsuk Yu.V, Volkov Yu.V., Mateichyk V.P., Volkova T.V., Krasnokutska Z.I., Volska O.M., Symonenko R.V., Volodarets M.V., Sadovnyk I.I., Pokshevnytska T.V., Hrytsuk A.I., Verbovska V.V., Hrytsuk V.Yu., Chentsov A.V. № 75503, as of 22.12.2017.

31. Algorithm for carrying out remote diagnostics of the vehicle technical condition during operation in the conditions of ITS. / Volkov V.P., Hrytsuk I.V., Hrytsuk Yu.V., Volkov Yu.V., Mateichyk V.P., Volkova T.V., Krasnokutska Z.I., Volska O.M., Symonenko R.V., Volodarets M.V., Sadovnyk I.I., Pokshevnytska T.V., Hrytsuk A.I., Verbovska V.V., Hrytsuk V.Yu, Chentsov A.V. № 75505, as of 22.12.2017.

32. System for ensuring optimal coolant temperatures in an internal combustion engine. / Hrytsuk I.V., Pogorletskyi D.S., Bilousov Ye.V., Kurnosenko D.V., Verbovskyi V.S., Volodarets M.V., Symonenko R.V. № 126804, Buleten № 13, as of 10.07.2018.

33. Remote control system, determination of efficiency and safety of vehicles' operations. / Hrytsuk I.V., Khudiakov I.V., Symonenko R.V., Polyvianchuk A.P., Volodarets M.V., Pogorletskyi D.S., Chernenko V.V., Manzheley V.S. , Dzyhar A.K. № 144719, Buleten № 20 as of 26.10.2020.

Publications that certify the approbation of the dissertation.

34. Symonenko R.V., Kruk S.V. On substantiating the choice of telematics means to increase the efficiency of vehicles' operation: LXXVII scientific conference of professors and teachers, postgraduate students, students and staff of separate departments of the University, Kyiv. NTU, 2021. P. 79.

35. Mateichyk V.P., Tsiuman M.P., Symonenko R.V., Kaliuzhnyi V.V. Systematic approach to assessing the operational efficiency of vehicles.: 15th International Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers, Lviv. 2021. P. 2.

36. Symonenko R.V., Mateichyk V.P., Hrytsuk I.V. Peculiarities of telematics support formation of the "Wheeled vehicles - infrastructure" system. *"Marine Power Plants and Operation 2021":* scientific-practical conference, Odessa. 2021. P. 455–461.

37. Symonenko R.V., Kolinchenko Yu.P., Shymanskyi S.I. Development of intelligent transport systems of Ukraine. "Safety and ecology on road transport": scientific-practical conference, Kyiv. DP "DerzhavtotransNDIproekt", 2020. P. 10–11.

38. Peculiarities of the information system of remote monitoring of processes of thermal preparation of the engine of the vehicle working on gasoline and gas fuel / D.S. Pogorletskyi, I.V. Hrytsuk, R.V. Symonenko, I.V. Khudiakov. "Automobile and tractor construction": proceedings of the international scientific-practical conference, Minsk. BNTU, 2020. P. 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. Peculiarities of thermal preparation and monitoring of engine operation processes of vehicles running on liquefied gas fuel / I.V.Hrytsuk, D.S. Pogorletskyi, R.V. Symonenko, M.V. Volodarets, I.V. Khudiakov. "Road transport and infrastructure": II international scientific and practical conference, Kyiv. NUBiP, 2019. P. 97–100.

42. Khudiakov I.V., Volodarets M.V., Symonenko R.V. Adaptation of the information software complex of vehicle operation for work in the remote monitoring system. *"Modern power units for transport and technologies and equipment for their maintenance"*: proceedings of the 9th international scientific and practical conference, Kherson. KhDMA, 2019. P. 99–103.

43. System of remote monitoring of the vehicle operation complex / I.V. Khudiakov, V.S. Mandzhelei, A.I. Satulov, R.V. Symonenko. *"The latest technologies for the development of road transport":* international scientific and practical conference, Kharkiv. KhNADU, 2018. P. 192–194.

44. Peculiarities of obtaining data on the parameters of the technical condition and vehicles DID under operating conditions when performing remote monitoring and diagnostics / I.V. Hrytsuk, V.P. Mateichyk, M. Smieszek, M. Saga, I. Kuric, R.V. Symonenko. *"Modern power plants for transport and technologies and equipment for their maintenance":* proceedings of the 9th international scientific and practical conference, Kherson. KhDMA, 2018. P. 42–46.

45. Formation peculiarities of monitoring system model of a vehicle in the operation conditions / V.P. Volkov, I.V., Hrytsuk, Yu.V. Hrytsuk, Yu.V. Volkov, R.V. Symonenko, D.V. Kurnosenko, V.P. Mateichyk. *"Automobile and electronics. Modern technologies":* proceedings of the V international scientific and technical Internet conference, Kharkiv. KhNADU, 2017. P. 85–87.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ…….. 30
ВСТУП……..…… 32
РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ…..... 41
1.1 Актуальність проблеми підвищення ефективності використання транспортних засобів в умовах експлуатації ……..... 41
1.2 Характеристики, нормативи, вимоги й обмеження експлуатаційної ефективності транспортних засобів …….. 53
1.3 Характеристика та структура телематичних систем і технологій для підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ....……..……... 57
1.4 Аналіз методів оцінювання експлуатаційної ефективності транспортних засобів…….……..... 66
1.5 Загальні принципи побудови інформаційних систем моніторингу показників експлуатаційної ефективності транспортних засобів 68
1.6 Основні стратегічні напрямки підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ на основі інтелектуальних систем ……..…… 71
Висновки до розділу 1, мета і завдання дослідження …….…… 74
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В СИСТЕМІ КТЗ – ІНФРАСТРУКТУРА……..…… 77
2.1 Системний підхід до управління експлуатаційною ефективністю КТЗ 77
2.2 Побудова системи «КТЗ – Інфраструктура»..... 79
2.3 Визначення критеріїв оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в системі «КТЗ – Інфраструктура»…….…..…… 92
2.4 Формування алгоритму управління експлуатаційною ефективністю КТЗ за динамічними, економічними та екологічними критеріями 102
Висновки до розділу 2……..…….. 107
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРІНГУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КТЗ……. 109

3.1 Призначення, інформаційні складові та архітектура телематичного забезпечення системи «КТЗ - Інфраструктура»…….……. 109
3.2 Методика побудови інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»…….…….. 117
3.3 Особливості формування інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура» …….……. 119
3.4 Особливості функціонування інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»……... 126
3.5 Особливості предметної області інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»…….. 141
Висновки до розділу 3…….……... 144
РОЗДІЛ 4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ СИСТЕМИ «КТЗ – ІНФРАСТРУКТУРА»…… 146
4.1 Структура математичної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»……. 146
4.2 Моделювання процесів підсистеми «Енергоустановка» (рівень A)..... 149
4.3 Моделювання процесів підсистеми «Колісний транспортний засіб» (рівень C, E)…….. 174
4.4 Моделювання процесів підсистеми «Інфраструктура» (рівень G)……..... 185
4.5 Моделювання зворотних зв'язків підсистем і системи загалом (рівні B, D, F, H)……...……... 186
4.6 Перевірка адекватності математичних моделей елементів, підсистем і системи управління експлуатаційною ефективністю транспортних засобів 188
Висновки до розділу 4 ……..……..… 192
РОЗДІЛ 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КТЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ТЕЛЕМАТИКИ…….. 194
5.1 Мета і програма експериментальних досліджень ……. 194
5.2 Об'єкти і методики експериментальних досліджень …… 195
5.3 Експериментальні установки ……..... 198
5.4 Результати експериментальних досліджень …… 209

Висновки до розділу 5……..... 233
РОЗДІЛ 6 ДОСЛІДЖЕННЯ НА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КТЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ…….. 235
6.1 Дослідження ефективності управління системою забезпечення теплового стану енергоустановки КТЗ за економічним та екологічним критеріями…… 235
6.2 Дослідження динамічних показників руху КТЗ на маршруті з використанням інтелектуального аналізу параметрів інфраструктури…….. 239
6.3 Оцінка витрати палива і шкідливих викидів у складі системи управління експлуатаційною ефективністю КТЗ в процесах руху……. 256
6.4 Результати дослідження впливу алгоритму управління КТЗ на витрати енергії і викиди шкідливих речовин в умовах експлуатації…… 269
6.5 Оцінка алгоритмів управління експлуатаційною ефективністю ТЗ…… 276
6.6 Визначення доцільного маршруту руху КТЗ у визначених інфраструрних умовах……. 282
Висновки до розділу 6……...…….. 285
ВИСНОВКИ……..... 288
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 291
Додаток А……...……..... 324
Додаток Б……...……..... 335
Додаток В……...……..... 345
Додаток Г……...……..... 348
Додаток Д……...……..... 356
Додаток Є……...……..... 359
Додаток Ж……...……..... 365
Додаток З…… 366

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КТЗ – колісний транспортний засіб;

V2N – Vehicle to Network;

V2V – Vehicle to Vehicle;

V2I – Vehicle to Infrastructure;

V2P – Vehicle to Pedestrian;

КТЗ-І – «Колісні транспортні засоби - Інфраструктура»;

ДП – державне підприємство;

OBD – On-Board Diagnostics;

ЕУ – енергетична установка;

НТУ – Національний транспортний університет;

ХНАДУ – Харківський національний автомобільно-дорожній університет;

ХДМА – Херсонська державна морська академія;

ЄС – Європейський союз;

ЄЕК ООН – Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй;

ІТС – інтелектуальна транспортна система;

ГІС – геоінформаційна система;

GPS – Global Positioning System;

ТО – технічне обслуговування;

CO – оксид вуглецю;

$C_m H_n$ – вуглеводні;

NO_x – оксиди азоту;

CO_2 – діоксид вуглецю;

DFD – Data Flow Diagram;

ШР – шкідливі речовини;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ВГ – відпрацьовані гази;

ЗНГ – зріджений нафтовий газ;

Е-40 – спиртовмісне паливо з вмістом етанолу близько 40 %;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ТА – тепловий акумулятор;

ТАМ – теплоакумулюючий матеріал;

ІПК – інтелектуальний програмний комплекс;

CVS – Constant Volume Sampling.

ВСТУП

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-І, 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 дослідже*ння є методи оцінювання та способи підвищення ефективності експлуатації КТЗ з сучасними ЕУ в системі КТЗ-І 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 основувалась на методах системного аналізу, які визначили структуру та логічну організацію досліджень та функціональну модель системи КТЗ-І, 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-І за морфологічними ознаками її підсистем, варіантів їх реалізації, синтезовано існуючі та перспективні морфологічні структури системи з різнем 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-І, 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 удосконаленим 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-І 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 [46, 61, 70, 75, 77, 115, 165, 166, 182, 183, 188-205, 207-214, 216, 219, 221-223, 226, 227, 232, 254]. Роботи [188, 189] 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-І [77, 165, 190, 193-195, 197-200, 202, 205, 207, 216], сформовано алгоритми управління технічним станом та режимами руху КТЗ для досягнення цільових

показників продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища [61, 75, 115, 165, 182, 183, 188, 189, 195, 202, 203, 214, 216], запропоновано метод систематизації телематичного забезпечення системи КТЗ-І [75, 191, 201, 205, 210, 219, 223, 226, 227, 254], запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи КТЗ-І та її функціональних елементів [75, 207, 213, 214], розроблено комплекс окремих критеріїв оцінювання динамічних, економічних та екологічних властивостей КТЗ та інтегральних критеріїв оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в системі КТЗ-І [46, 61, 70, 115, 165, 182, 183, 188, 189, 192, 196, 202- 204, 211, 212, 222], 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 [61, 115, 165, 166, 182, 183, 188, 189, 192, 196, 202-204, 209, 221, 222, 232], удосконалено математичні моделі основних процесів системи КТЗ-І, які реалізують алгоритм управління тепловою підготовкою підсистем енергоустановки (двигуна та нейтралізатора) в режимі прогріву [70, 77, 166, 192, 196-198, 208, 209, 221, 232], удосконалено математичні моделі системи КТЗ-І для визначення динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ в окремих режимах, в їздовому циклі та на експлуатаційному маршруті [198, 221], запропоновано методи побудови інформаційної моделі системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора та характеристик інфраструктурного середовища в системі КТЗ-І [75, 191, 193, 194, 197, 199-201, 214, 219, 226-227].

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 моделювання 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 симпозіумі 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.

РОЗДІЛ 1
ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Актуальність проблеми підвищення ефективності використання транспортних засобів в умовах експлуатації

Перевезення пасажирів та вантажів автомобільним транспортом були і залишаються важливою складовою економіки України. Цей вид діяльності має важливе соціальне значення, а також суттєво впливає на розвиток економіки держави. Поряд з безпечністю перевезень, впливом транспорту на довкілля, вирішення проблеми підвищення ефективності перевезень є однією з визначальних для транспортної галузі.

Як видно із даних Державної служби статистики України щодо обсягів перевезених вантажів за роками та видами транспорту (рис. 1.1) [1], протягом десятиліть автомобільним транспортом перевозились найбільші обсяги вантажів, які є приблизно втричі більшими у порівнянні із залізничним транспортом. В середньому, автомобільним транспортом перевозиться близько 55% обсягів вантажів, а у 2020 році цей показник сягнув 65%.

Аналіз розподілу пасажирообігу за видами транспорту за січень-квітень 2021 року (рис. 1.2) [1] показує, що за вказаний період пасажирообіг на автомобільному транспорті був найбільшим серед усіх видів транспорту та склав 5600 млн. пас.км.

Аналіз динаміки пасажирообігу на різних видах транспорту за місяцями 2020-2021 року (рис. 1.3) [1] дозволяє дійти таких висновків:

- пасажирообіг на всіх видах транспорту зменшився у 2021 році порівняно з початком 2020 року. Очевидною причиною такого падіння є пандемія, спричинена коронавірусною інфекцією COVID-19. При цьому, пікові падіння прийшлися на «першу хвилю» у березні-квітні 2020 року (на залізничному транспорті пасажирообіг у той період впав до нуля);

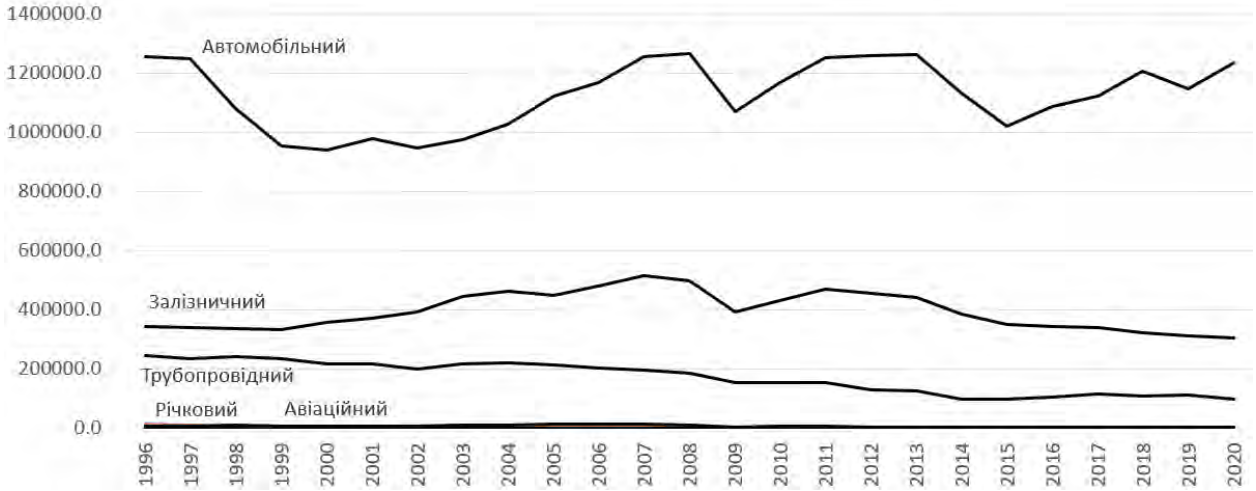


Рисунок 1.1 – Обсяги перевезених вантажів, тис. т, за роками та видами транспорту [1]

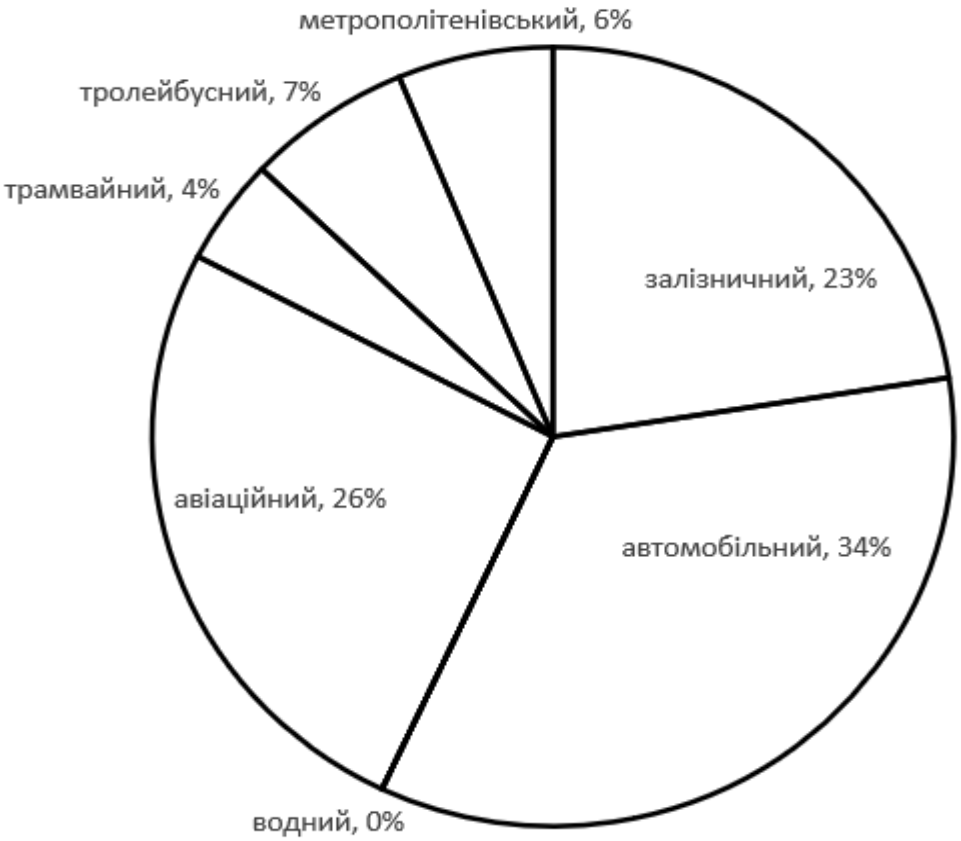


Рисунок 1.2 – Розподіл пасажирообігу за видами транспорту за січень-квітень 2021 року [1]

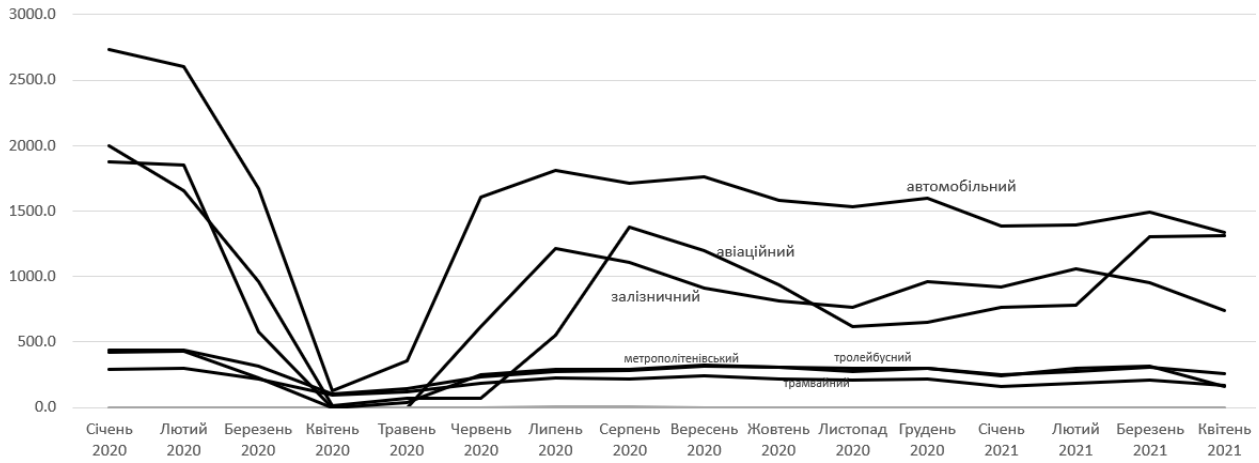


Рисунок 1.3 – Пасажирообіг, млн. пас.км, за видами транспорту протягом 2020-2021 років [1]

- після завершення першої хвилі пандемії «COVID-19» пасажирообіг на автомобільному транспорті є найбільш стабільним порівняно з усіма іншими видами транспорту. Він впав до рівня близько 1,5 млрд. пас.км порівняно з понад 2,7 млрд. пас.км у період до початку пандемії, але є найбільш стійким до другої та наступних хвиль пандемії «COVID-19»;

- падіння пасажирообігу на автомобільному транспорті є найменшим у порівнянні з іншими видами транспорту і становило близько 44 % (пасажирообіг у січні 2021 року порівняно з січнем 2020 року). На залізничному транспорті падіння склало близько 49 % (з 1,85 до 0,95 млрд. пас.км). Найбільше постраждала авіаційна галузь – відношення пасажирообігів за аналогічні періоди становить 63 % (падіння з 2 до 0,75 млрд. пас.км).

Натомість, динаміка вантажообігу на транспорті виявилася стійкою до процесів, пов’язаних з введенням обмежень через пандемію «COVID-19», які практично не вплинули на цю динаміку (рис. 1.4) [1]. Навпаки, вантажообіг на автомобільному транспорті збільшився на 20 % у квітні 2021 року порівняно з періодом до початку пандемії «COVID-19».

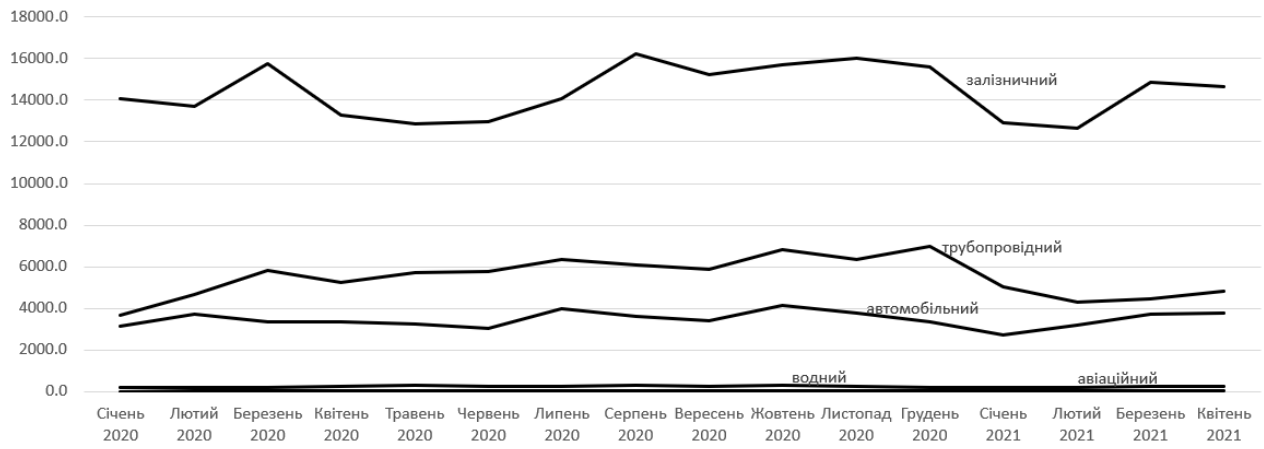


Рисунок 1.4 – Вантажообіг, млн. ткм, за видами транспорту протягом 2020-2021 років [1]

На рис. 1.5-1.6 наведені результати досліджень U.S. Energy Information Administration щодо споживання енергії у світі різними видами транспорту у 2012 році [2]. З результатів цих досліджень можливо зробити висновок, що автомобільним транспортом споживається більше 60% енергії у транспортному секторі.

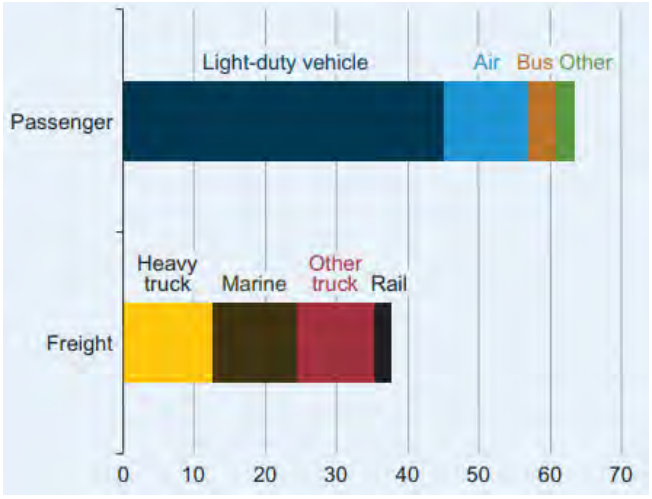


Рисунок 1.5 – Споживання енергії у світі різними видами транспорту у 2012 році у квадриліонах Британських термічних одиниць (1 Btu = 1055,6 Дж) [2]

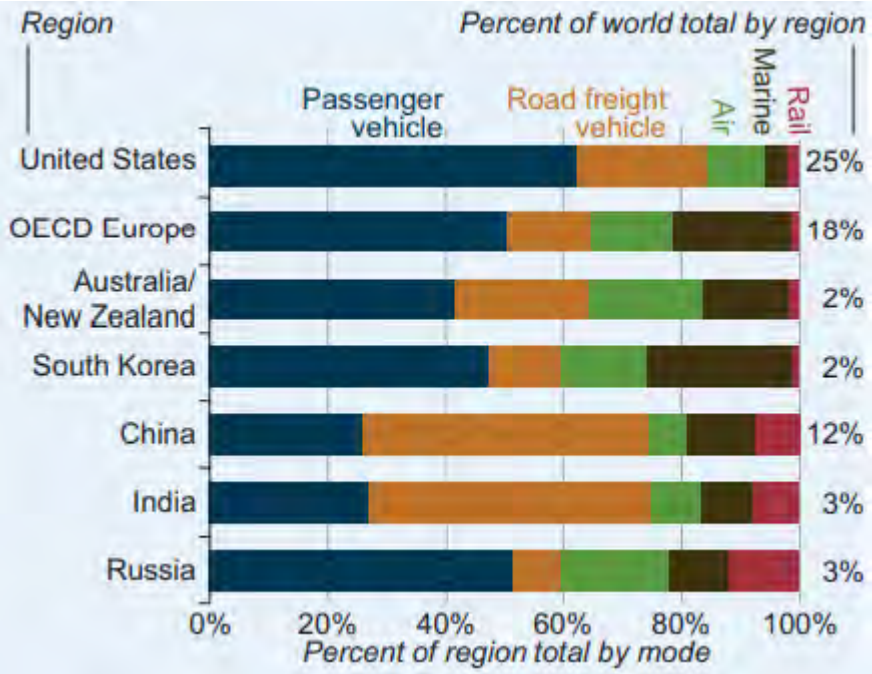


Рисунок 1.6 – Споживання енергії різними видами транспорту в регіонах у 2012 році [2]

Таким чином, пошук шляхів та впровадження заходів щодо підвищення ефективності транспортних засобів саме на автомобільному транспорті є найбільш актуальним завданням.

Також, на сьогоднішній день надзвичайно гостро у всьому світі стоїть проблема, пов’язана із безпекою на автошляхах. За кількістю загиблих та травмованих людей дорожньо-транспортні пригоди значно перевищують ці показники, порівняно не тільки з усіма іншими видами транспорту, але й з будь-якими іншими сферами діяльності людини, в яких масштаби нещасних випадків не наближаються до автомобільного транспорту.

На рис. 1.7 наведена статистика кількості загиблих людей у дорожньо-транспортних пригодах, віднесеної до 1 млн. населення, в Україні та у державах-членах Європейського Союзу (ЄС), складена на основі даних Європейської Комісії, Патрульної поліції України та Світового банку [3-5].

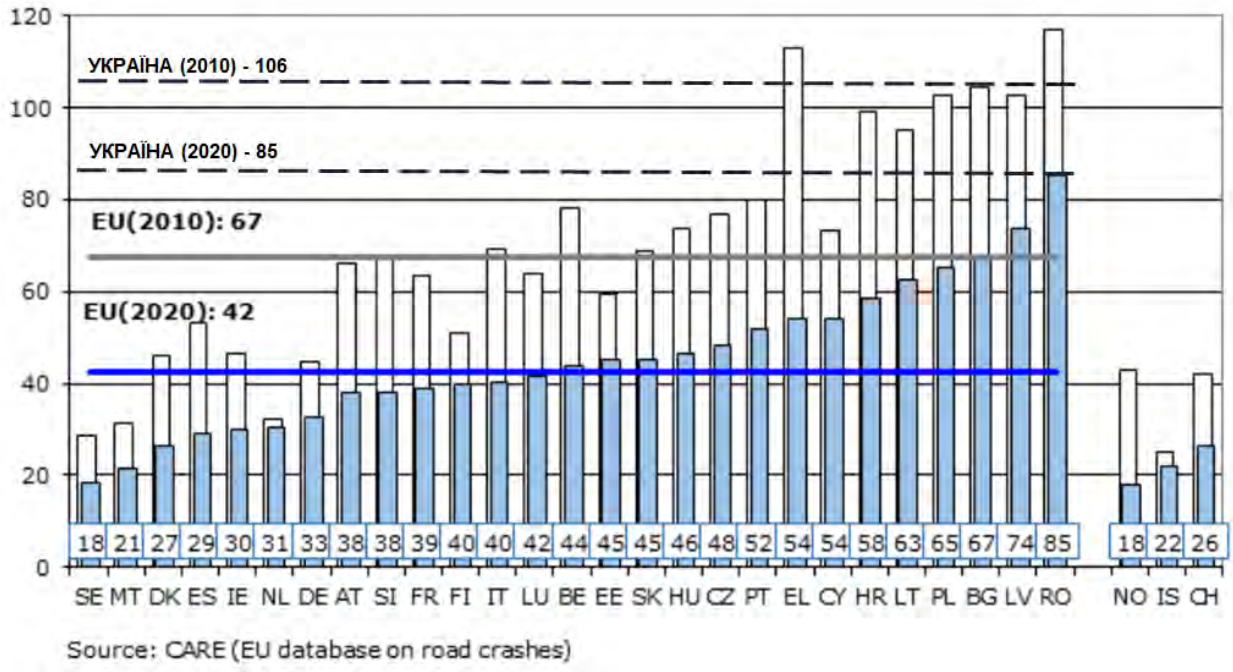


Рисунок 1.7 – Кількість загиблих людей у дорожньо-транспортних пригодах, віднесена до 1 млн. населення, в Україні та у державах-членах ЄС [3-5]

Нажаль, висновки, які випливають із наведеної статистики, є вкрай невтішними. Кількість загиблих у ДТП на 1 млн. населення в Україні у 2020 році є вдвічі більшою за відповідний середній показник в державах-членах ЄС. В той час, як за останнє десятиріччя (з 2010 по 2020 рік) в ЄС цей показник скоротився майже на 40%, в Україні відповідні темпи скорочення є вдвічі меншими – лише на 20%. До теперішнього часу Україна не змогла наблизитися до рівня безпеки на автомобільному транспорті в ЄС станом на 2010 рік.

Отже, вирішення проблеми безпеки на автомобільному транспорті в усьому світі є актуальним завданням, в той час, як для України ця проблема через свою масштабність стоїть особливо гостро.

Як відзначено у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року [6], сьогодні транспортна галузь в цілому може задовільнити базові кількісні потреби щодо перевезень. Однак якісний рівень транспорту залишається низьким порівняно із світовими трендами, що не дозволяє ефективно реалізовувати

євроінтеграційний курс України, зокрема, здійснювати інтеграцію в Транс'європейську транспортну мережу.

Також відзначається [6], що збільшення ефективності транспортної галузі забезпечить підвищення її конкурентоспроможності. Крім того, збільшенню ефективності сприяють: вдосконалення правового механізму державно-приватного партнерства та посилення взаємодії між державним та приватним сектором, органами державної влади та органами місцевого самоврядування; проведення необхідних реформ, у тому числі запровадження децентралізації, особливо шляхом скоординованих ініціатив державної політики. Наведені принципи забезпечать міцну основу сталого розвитку транспортної галузі та створення вільного та конкурентного ринку транспортних послуг.

Запропонована стратегія [6] визначає комплексні пріоритети формування транспортної політики та ефективного державного управління, основні напрями розвитку транспортної галузі на період до 2030 року.

Мета стратегії [6] полягає у створенні інтегрованого до світової транспортної мережі безпечно функціонуючого та ефективного транспортного комплексу України. Досягнення поставленої мети сприятиме задоволенню потреб населення у перевезеннях. Це також покращить умови ведення бізнесу і забезпечить конкурентоспроможність та ефективність національної економіки.

В цілому, реалізація стратегії [6] сприятиме зближенню України та ЄС, оскільки вона стосується запровадження Угоди про асоціацію та створення умов, які сприятимуть поступовій інтеграції України у внутрішній ринок ЄС, підвищенню якості надання транспортних послуг, ефективному впровадженню адміністративної реформи, боротьбі з корупцією, прозорості прийняття рішень, чіткому розмежуванню функцій і розподілу повноважень між органами виконавчої влади та суб'єктами господарювання, забезпеченню створення рівних умов для надання транспортних послуг.

Імплементація положень стратегії [6] дасть змогу посилити інституціональну спроможність організацій, залучених до процесу гармонізації законодавства

України із ЄС, та створить підстави посилення механізму здійснення контролю за його впровадженням для отримання високотехнологічної транспортної системи.

Також слід зазначити, що з метою створення ефективно працюючого транспортного комплексу України та, як наслідок, досягнення Україною статусу регіонального транспортного хабу, стратегія [6] враховує такі світові тенденції, що притаманні транспорту, зокрема:

- впровадження у використання високотехнологічних та ергономічних транспортних засобів, принципів мультимодальності, супутникової навігації, інтелектуальних транспортних систем, інформаційних технологій, електронного документообігу;

- застосування композитних матеріалів, зниження металоємності, покращення аеродинаміки та безпечності транспортних засобів;

- використання найбільш паливно-економічних та екологічних транспортних засобів, застосування альтернативних видів палива, пріоритетність потреб охорони навколишнього природного середовища та збереження цінних природоохоронних територій під час розвитку транспортної інфраструктури;

- прискорення і забезпечення своєчасної доставки пасажирів та вантажів завдяки швидкісним видам транспорту та розвитку логістики;

- забезпечення транспортної доступності для населення, його високої мобільності, збільшення дальності та скорочення часу поїздки пасажирів у мегаполісах;

- регулювання збільшення автомобілізації шляхом розвитку громадського та вело-, електротранспорту.

ЄС розроблено «зелений курс» і стратегію впровадження екологічно чистих та енергоефективних транспортних засобів [7, 8]. Про це свідчить прихильність Європейської Комісії до вирішення кліматичних та екологічних проблем, що є визначальним завданням цього покоління. Температура атмосфери зростає, а клімат змінюється з кожним роком. Мільйон із восьми мільйонів біологічних видів на планеті ризикує зникнути. Ліси й океани забруднюються та незворотньо змінюються.

Європейський зелений курс - це відповідь на ці виклики. Це нова стратегія зростання, яка має на меті перетворити ЄС на справедливе та процвітаюче суспільство із сучасною, енерго- та ресурсоефективною конкурентоспроможною економікою, де в 2050 році не буде некомпенсованих викидів парникових газів і де економічне зростання відокремлене від використання ресурсів. Зелений курс також спрямований на захист, збереження і зміцнення природного капіталу ЄС, а також на захист здоров'я та добробуту громадян від екологічних ризиків та впливів. Водночас цей перехід повинен бути справедливим і всеохоплюючим. Це повинно ставити людей на перше місце, а також звертати увагу на регіони, галузі та робітників, які зіткнуться з найбільшими проблемами. Потрібен новий пакт, який би об’єднав громадян у всьому їх різноманітті, а національні, регіональні, місцеві органи влади, громадянське суспільство і промисловість тісно співпрацювали з інституціями та консультативними органами ЄС.

ЄС необхідно брати на себе відповідальність з вирішення проблеми як світовий лідер у галузі кліматичних й екологічних заходів, захисту споживачів та прав працівників. Досягнення додаткових скорочень викидів є проблемою. Це вимагатиме значних державних інвестицій та збільшення зусиль для спрямування приватного капіталу на кліматичні та екологічні дії. ЄС повинен бути на чолі координації міжнародних зусиль щодо побудови злагодженої фінансової системи, що підтримує ці рішення.

Попередні інвестиції та Європейський зелений курс сприятиме прискоренню і підтримці переходу, необхідного у всіх секторах, на поліпшення кліматичних та екологічних показників середовища.

Дії зеленого курсу повинні бути скоординовані з усіма учасниками ЄС. Зміна клімату і втрата біорізноманіття є загальносвітовими та не обмежуються національними кордонами. ЄС може використовувати свій вплив, досвід і фінансові ресурси для мобілізації своїх сусідів та партнерів для приєднання до нього. ЄС продовжуватиме очолювати міжнародні зусилля і хоче створити союзи з однодумцями.

Початкова дорожня карта ключових політик і заходів, необхідних для досягнення Європейського зеленого курсу, буде оновлюватися у міру розвитку потреб та формування відповідей на політику. Усі дії та політики ЄС повинні сприяти досягненню цілей Європейського Зеленого курсу. Проблеми складні та взаємопов’язані. Реакція політики повинна бути сміливою і всебічною та прагнути максимізувати вигоду для здоров'я, якості життя, стійкості та конкурентоспроможності.

Зелений курс є невід’ємною частиною стратегії Європейської Комісії щодо реалізації Порядку денного ООН до 2030 року та цілей сталого розвитку, а також інших пріоритетів, проголошених у політичних рекомендаціях президента фон дер Леєна.

Для досягнення Європейського зеленого курсу необхідно переглянути політику енерговикористання в економіці, промисловості, виробництві та споживанні, масштабній інфраструктурі, транспорті, сільському господарстві, будівництві. Для досягнення цих цілей важливо забезпечити захист і відновлення природних екосистем, стале використання ресурсів та поліпшення здоров'я людей.

Незважаючи на те, що ці сфери дій тісно взаємопов’язані, існують потенційні компроміси між економічними, екологічними та соціальними цілями. Зелений курс буде послідовно використовувати всі важелі політики: регулювання і стандартизацію, інвестиції та інновації, національні реформи, діалог із соціальними партнерами та міжнародну співпрацю.

Європейська Комісія буде співпрацювати з державами-членами для активізації зусиль ЄС щодо забезпечення виконання й ефективного впровадження чинного законодавства та політики, що стосуються зеленого курсу.

Європейська Комісія вже сформулювала чітке бачення шляхів досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Це бачення стало основою для довгострокової стратегії, яку ЄС подало Рамковій конвенції ООН про зміну клімату на початку 2020 року. Встановлено умови для досягнення кліматичної нейтральності, забезпечено передбачуваність для інвесторів та запропоновано перший європейський „Закон про клімат” у березні 2020 року. Таким чином, це

закріпило у законодавстві забезпечення кліматичної нейтральності до 2050 року. Закон про клімат зобов'язує, щоб усі політики ЄС сприяли поліпшенню клімату, а кожний із секторів відігравав свою роль.

ЄС вже розпочав модернізацію економіки з метою поліпшення клімату. У період з 1990 по 2018 рік скорочено викиди парникових газів на 23%, тоді як економіка зросла на 61%. Однак поточна політика дозволить зменшити викиди парникових газів лише на 60% до 2050 року, що є недостатнім.

У 2020 році Європейська Комісія представила план дій щодо скорочення викидів парникових газів в ЄС до 2030 року, який передбачає скорочення щонайменше до 50% порівняно з рівнем 1990 року. Щоб забезпечити ці додаткові скорочення викидів парникових газів, у 2021 році Європейська Комісія запропонувала систему торгівлі викидами, у тому числі, можливе поширення європейської торгівлі викидами на нові сектори держав-членів, що не входять до системи торгівлі викидами, та нормативні акти щодо землекористування, зміни використання земель та лісового господарства. Комісія запропонувала внести зміни до Закону про клімат, щоб відповідно його оновити.

Ці реформи допоможуть забезпечити ефективне ціноутворення на вуглець у всій економіці. Це сприятиме змінам у поведінці споживачів і бізнесу та сприятиме зростанню довгострокових державних та приватних інвестицій. Різні інструменти ціноутворення повинні доповнювати один одного та спільно забезпечувати узгоджену політику щодо зменшення викидів. Комісія пропонує переглянути Директиву про оподаткування енергії, зосередившись на екологічних питаннях і положеннях Договорів, які дозволяють Європейському Парламенту та Раді приймати пропозиції у цій галузі за допомогою звичайної законодавчої процедури шляхом голосування кваліфікованою більшістю голосів.

Поки багато міжнародних партнерів не поділяють вимог ЄС, існує ризик витоку вуглецю або через те, що виробництво передається з ЄС в інші країни з меншими вимогами щодо скорочення викидів, або через те, що продукція ЄС замінена на більше вуглецевмісний імпорт.

Якщо цей ризик матеріалізується, не відбудеться скорочення глобальних викидів, то це зіпсує зусилля ЄС для досягнення глобальних кліматичних цілей Паризької угоди.

Якщо різниця в рівнях вимог у всьому світі зберігатиметься, оскільки ЄС посилює свої кліматичні амбіції, Європейська Комісія запропонує механізм регулювання вуглецевого кордону для вибраних секторів, щоб зменшити ризик витоків вуглецю. Це забезпечить відповідність ціни на імпорт вмісту вуглецю. Цей захід буде розроблений на відповідність правилам Світової організації торгівлі та іншим міжнародним зобов'язанням ЄС. Це було б альтернативою заходам, що стосуються ризику витоків вуглецю в Системі торгівлі викидами ЄС.

Комісія прийме нову, більш амбіційну стратегію ЄС щодо адаптації до кліматичних змін. Це важливо, оскільки кліматичні зміни продовжуватимуть створювати значний стрес в Європі, незважаючи на зусилля щодо пом'якшення наслідків. Посилення зусиль щодо захисту від змін клімату є вирішальним. Робота з адаптації до змін клімату повинна продовжувати впливати на державні та приватні інвестиції. Важливо щоб в усьому ЄС інвестори, страховики, підприємства, міста та громадяни мали можливість отримати доступ до даних та розробити інструменти для інтеграції змін клімату у свої практики управління ризиками.

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

1.2 Характеристики, нормативи, вимоги й обмеження експлуатаційної ефективності транспортних засобів

Відповідно до Правил експлуатації колісних транспортних засобів [9], визначено механізм організації безпечного утримання колісних транспортних засобів (КТЗ) категорій M, N, O впродовж експлуатаційного життєвого циклу автомобільним перевізником або власником, зокрема, підприємствами, установами, організаціями всіх форм власності, а також підприємствами автомобільного сервісу, що займаються ремонтом КТЗ, та суб'єктами господарювання, які організовують або здійснюють роботи у сфері технічної експлуатації колісних транспортних засобів (придбання-продаж, утримання, передання на утилізацію колісних транспортних засобів або їх частин). Вказані Правила поширюються на всі КТЗ, що перебувають в експлуатації, за винятком тролейбусів, КТЗ державних силових та безпекових структур, спортивних КТЗ.

Нормативи, а також вимоги, які встановлюють обмеження щодо окремих характеристик транспортних засобів, які стосуються показників безпеки та захисту довкілля, на глобальному рівні встановлюються під егідою ООН, зокрема КВТ ЄЕК ООН та його робочих груп (Група по автомобільному транспорту SC.1, Всесвітній Форум з гармонізації регламентів у сфері транспортних засобів WP.29 [10], Група з безпеки дорожнього руху WP.1 та інші).

В рамках Всесвітнього Форуму з гармонізації регламентів у сфері транспортних засобів (WP.29) Комітету внутрішнього транспорту Європейської Економічної Комісії ООН адміністровано три міжнародні Угоди:

- Угода про прийняття узгоджених технічних регламентів ООН для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та/або використані на колісних транспортних засобах, і про умови взаємного визнання офіційних затверджень, виданих на основі цих регламентів ООН (Женевська Угода 1958 року) [11];

- Угода про введення глобальних технічних регламентів для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та/або використані на колісних транспортних засобах (Глобальна Угода 1998 року) [12];

- Угода про прийняття єдиних умов періодичних технічних оглядів колісних транспортних засобів і про взаємне визнання таких оглядів (Віденська Угода 1997 року) [13, 246-248].

Наразі Україна є договірною стороною двох з трьох цих угод – Женевської Угоди 1958 року [11] та Віденської Угоди 1997 року [13].

Цими трьома міжнародними угодами встановлюються такі регуляторні інструменти стосовно вимог до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, їх частин та обладнання:

- регламенти ООН, які є додатками до Женевської Угоди 1958 року;

- глобальні технічні регламенти ООН, які встановлюються в рамках Угоди 1998 року;

- правила ООН, які є додатками до Віденської Угоди 1997 року.

Регламенти ООН містять приписи для транспортних засобів, їх систем, частин та обладнання, які стосуються безпеки та захисту довкілля. Вони містять вимоги щодо перевірки показників, а також адміністративні процедури – стосовно затвердження типу, відповідності виробництва, зокрема заходи щодо підтвердження спроможності виробників забезпечувати виробництво продукції у відповідності до специфікацій затвердженого типу виробництв.

Технічні регламенти ООН містять скоординовані вимоги до показників транспортних засобів, їх частин й обладнання та процедури перевірки відповідності. Вони передбачають регламенти для світової автомобільної промисловості, споживачів та їх асоціацій. Ці регламенти не містять адміністративних приписів щодо затверджень типу та їх взаємного визнання.

Правила ООН стосуються періодичних технічних оглядів транспортних засобів під час експлуатації. Договірні сторони взаємно визнають (за визначених умов) сертифікати міжнародних технічних оглядів, виданих згідно з Правилами ООН.

Законодавство України та ЄС щодо затвердження типу транспортних засобів значною мірою ґрунтується на положеннях Женевської Угоди 1958 року та доданих до неї Регламентів ООН. Натомість у сфері періодичних технічних оглядів

законодавство ЄС базується на положеннях регіональної Директиви Європейського Парламенту і Ради 2014/45/ЄС від 3 квітня 2014 року щодо періодичних перевірок придатності до експлуатації колісних транспортних засобів та їхніх причепів і визнання Директиви 2009/40/ЄС такою, що втратила чинність [14].

Загалом регуляторні документи, які розробляються Всесвітнім Форумом WP.29, покликані сприяти впровадженню інноваційних технологій на ринку транспортних засобів з одночасним постійним удосконаленням глобальної безпеки транспортних засобів. Ці регламенти визначають норми щодо зменшення інтенсивності забруднення довкілля та споживання енергії.

З початком 2000-х років Всесвітній Форум WP.29 значно підвищив вимоги до транспортних засобів, їх частин та обладнання у частині використання інтелектуальних транспортних систем [15], які мають на меті підвищення рівня безпеки та поліпшення захисту довкілля від транспортних засобів.

Зокрема, в рамках Женевської Угоди 1958 року було прийнято такі регламенти ООН:

- Регламент ООН № 114 щодо систем подушок безпеки (дата прийняття 01 лютого 2003 року) [16];

- Регламент ООН № 123 щодо адаптивних систем переднього освітлення транспортних засобів (дата прийняття 02 лютого 2007 року) [17];

- Регламент ООН № 127 щодо систем захисту пішоходів транспортних засобів (дата прийняття 17 листопада 2012 року) [18];

- Регламент ООН № 130 щодо систем попередження виходу транспортного засобу з полоси руху (дата прийняття 09 липня 2013 року) [19];

- Регламент ООН № 131 щодо удосконалених аварійних систем гальмування (дата прийняття 26 січня 2014 року) [20];

- Регламент ООН № 132 щодо змінних систем контролю за викидами (дата прийняття 17 червня 2014 року) [21];

- Регламент ООН № 139 щодо допоміжних систем гальмування (дата прийняття 22 січня 2017 року) [22];

- Регламент ООН № 140 щодо електронних систем контролю стійкості транспортних засобів (дата прийняття 22 січня 2017 року) [23];

- Регламент ООН № 141 щодо систем моніторингу тиску в шинах (дата прийняття 22 січня 2017 року) [24];

- Регламент ООН № 144 щодо систем аварійного виклику при ДТП eCall (дата прийняття 19 липня 2018 року) [25];

- Регламент ООН № 151 щодо інформаційних систем «мертвих зон» та зокрема знаходження у них велосипедистів (дата прийняття 15 листопада 2019 року) [26];

- Регламент ООН № 152 щодо удосконалених аварійних систем гальмування легкових автомобілів (дата прийняття 23 січня 2020 року) [27].

Таким чином, починаючи з 2010-х років, приблизно половина з усіх прийнятих Регламентів ООН є такими, що встановлюють вимоги до інтелектуальних систем транспортних засобів та їх частин.

Разом з тим, в державах-членах ЄС запровадження обов'язкових вимог, стосовно функціонування інтелектуальних систем транспортних засобів, встановлюється відповідно до вимог регіональних регламентів стосовно систем: захисту пішоходів - Регламентом (ЄС) 78/2009 [28], удосконалених аварійних систем гальмування – Регламентом (ЄС) 347/2012 [29], попередження виходу транспортного засобу із полоси руху - Регламентом (ЄС) 351/2012 [30] та аварійного виклику eCall – Регламентом (ЄС) 2015/758 [31]. Окрім того, Регламентом (ЄС) 165/2014 [32] запроваджено використання в ЄС смарт-тахографів.

Отже, 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». Забезпечення експлуатаційної ефективності у цьому випадку можливе за умов добросовісного та якісного виконання ТО і ремонту КТЗ.

Разом з тим, європейські технічні регламенти передбачають використання окремих елементів інтелектуальних транспортних систем, що окрім контролю різних параметрів експлуатації КТЗ підвищують окремі показники експлуатації КТЗ.

1.3 Характеристика та структура телематичних систем і технологій для підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ

Сучасний автомобільний транспорт є складною технічною системою, керування якою на сьогодні викликає труднощі. Ефективність його функціонування залежить від технічного стану та умов експлуатації.

Транспортна політика багатьох розвинених країн на сьогодні ґрунтується на розробці і впровадженні телематичних та інтелектуальних транспортних систем [33-40], які вважаються потужним засобом для вирішення проблеми підвищення ефективності використання автомобільного транспорту, а саме:

- автоматизоване керування транспортними потоками;
- прогнозування технічного стану транспортних засобів;
- облік і контроль технологічних та інформаційних потреб учасників транспортного процесу;
- підвищення безпеки й ефективності транспортних процесів.

Інтеграція сучасних інформаційних і комунікаційних технологій та засобів автоматизації в транспортну інфраструктуру, а також в транспортні засоби дозволяють керувати транспортними потоками, визначати місцезнаходження та параметри автомобілів і вантажів [33-40].

Потреба у застосуванні ІТС виникла у зв’язку з різким збільшенням КТЗ у мегаполісах та викликаною цим проблемою заторів на дорогах, що має негативний вплив на екологічну ситуацію міст. Як відомо, однією з причин виникнення заторів є відсутність інформації для користувачів КТЗ стосовно ситуації на дорозі та взаємодії елементів транспортної системи (інфраструктура-КТЗ-оператор).

Ситуація, що склалася, стала підставою для переходу від політики збільшення кількості магістралей в бік підвищення якості та пропускної здатності останніх. Результатом стало впровадження проєкту IVHS (Intelligent Vehicle Highway Systems) у 1991 році [41] після виходу закону ISTEA (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act) [42]. У цьому проєкті, зокрема, говорилося, що його метою є «… розвиток економічно ефективної національної інтермодальної транспортної системи, яка послужить опорою для успішної конкуренції країни на світовому ринку і буде обслуговувати споживачів і перевозити товари з максимальним енергозбереженням».

Ці різні технології тепер відомі під загальною назвою інтелектуальні транспортні системи (ITC) [43]. При ефективному застосуванні ITC можуть зробити транспортну систему надійнішою, безпечнішою та ефективнішою, а також зменшити її вплив на довкілля.

Пріоритетним визначено саме дорожній транспорт, оскільки залізничний транспорт – це більш зріла технологія, і найкращих успіхів можна досягти у поліпшенні дорожнього транспорту та на його перетині з іншими видами транспорту. Разом з цим, ITC не може замінити раціональну транспортну політику і створення відповідних установ та належної інфраструктури, у яких існує нагальна потреба. Проблемою для міст є розуміння того, яким чином ITC може допомогти у керуванні їхньою транспортною системою, сформувати основу для прогресивного та узгодженого розвитку ITC, а також використати реальний досвід і знання роботи з ITC в ролі менеджера транспортної системи, яка залучає декілька варіантів застосування технологій ITC. Багато міст покладалися на досвід розвинутих країн у плануванні та впровадженні ITC. Однак, міста можуть розробляти власні підходи, які би враховували їх особливості, оскільки вони мають унікальну можливість використати чийсь досвід і на його основі зробити різкий стрибок вперед до ефективнішого використання.

ІТС – це сукупність розробок комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій у транспортному секторі. ІТС передбачає застосування комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій для управління транспортними засобами та мережами у реальному часі, включаючи переміщення пасажирів і вантажів.

Загальноприйнятий спосіб опису потенційного застосування ІТС, або послуг для користувачів ІТС, які включають інфраструктуру, транспортні засоби та людей, показано у табл. 1.1 [43]. Цей перелік із 44 послуг для користувачів в рамках 11 вузлів подано у версії, в якій їх визначено Міжнародною організацією стандартизації (ISO).

Таблиця 1.1 – Послуги для користувачів ІТС [43]

Вузол послуг для користувачів	Послуги для користувачів
Інформаційні послуги для подорожуючих	▪ Інформація, отримана до подорожі; ▪ Інформація, отримана під час подорожі; ▪ Інформація про послуги під час подорожі; ▪ Визначення маршруту і навігація – до подорожі; ▪ Визначення маршруту і навігація – під час подорожі; ▪ Підтримка планування подорожі.
Управління транспортним операціями та операційні послуги	▪ Управління транспортними операціями та регулювання руху; ▪ Управління надзвичайними ситуаціями, пов'язаними з транспортом; ▪ Управління попитом; ▪ Управління підтримкою транспортної інфраструктури; ▪ Поліцейський нагляд/Застосування.
Обслуговування транспортних засобів	▪ Покращення видимості; ▪ Автоматичне управління транспортним засобом; ▪ Уникнення зіткнень; ▪ Готовність системи безпеки; ▪ Обмеження для уникнення аварій.

Продовження табл. 1.1

Обслуговування вантажного транспорту	▪ Розмитнення комерційних транспортних засобів; ▪ Процес адміністрування комерційними транспортними засобами; ▪ Автоматична інспекція безпеки на дорогах; ▪ Контроль за безпекою комерційних транспортних засобів на борту; ▪ Управління транспортним парком вантажного транспорту; ▪ Інформаційне управління між різними видами транспорту; ▪ Управління та контроль за центрами різних видів транспорту; ▪ Управління небезпечними вантажами.
Обслуговування громадського транспорту	▪ Управління громадським транспортом; ▪ Транспорт, який реагує на попит, і муніципальний транспорт.
Обслуговування у надзвичайних ситуаціях	▪ Повідомлення про надзвичайні ситуації, пов’язані з транспортом, і особиста безпека; ▪ Пошуки транспортного засобу після крадіжки; ▪ Управління транспортними засобами у надзвичайних ситуаціях; ▪ Небезпечні матеріали та повідомлення про надзвичайні ситуації.
Послуги електронної оплати, які стосуються транспорту	▪ Електронні фінансові операції, пов’язані із транспортом; ▪ Інтеграція послуг електронної оплати, пов’язаних іх транспортом.
Особиста безпека, пов’язана з безрейковим транспортом	▪ Безпека громадських поїздок; ▪ Покращення безпеки для вразливих користувачів доріг; ▪ Покращення безпеки для користувачів доріг з обмеженими можливостями; ▪ Положення про безпеку для пішоходів, які використовують інтелектуальні вузли та зв’язки.
Послуги управління реагуванням на катастрофи та координацією	▪ Управління даними про катастрофи; ▪ Управління реакцією на катастрофи; ▪ Координація з органами з надзвичайних ситуацій.
Послуги національної безпеки	▪ Послуги національної безпеки; ▪ Моніторинг та контроль за підозрілими транспортними засобами; ▪ Моніторинг структур та труб.

Користувачами виступають окремі особи, власники транспортних засобів і транспортної інфраструктури. Більшість із цих послуг користувачі не застосовують окремо, зважаючи на взаємозалежність між ними [43].

Логічна структура ІТС визначає види діяльності та функції, необхідні для надання послуг користувача ІТС у вигляді дев'яти дерев функціональних процесів (рис. 1.8). Вони охоплюють наступні функціональні складові: управління рухом КТЗ, управління ТО послугами для водіїв, моніторинг і контроль КТЗ та інші [44].

Щодо визначення ІТС то, згідно Директиви 2010/40 Європейського парламенту та Ради [45], – це системи, які являють інформаційно-комунікаційні технології в галузі автомобільного транспорту і включають інфраструктуру, транспортні засоби та їх користувачів, управління потоком та мобільністю, а також взаємодію з іншими транспортними засобами.

Відмінною особливістю сучасних ІТС є зміна статусу транспортного засобу з «незалежного, самостійного» в «активного» передбачуваного суб'єкта транспортно-інформаційного простору. У зв'язку з цим, одним з ключових завдань є розвиток телематичного комплексу дорожньої інфраструктури, а автоматизація автомобіля стає однією з важливих технологій ІТС.

Починаючи з 2004 року, транспортний відділ ЄЕК ООН ініціював обговорення ІТС, а в 2012 році розробив Дорожню карту просування ІТС.

Підвищення рівня безпеки на транспорті шляхом впровадження новітніх інтелектуальних транспортних технологій в транспортну інфраструктуру, в умовах різкого зростання насиченості міст України КТЗ, є актуальним, що відмічається і у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року [6]. Так, серед завдань щодо розвитку транспортного сектору України відмічені наступні [6]:

- проведення реформ сектору відповідно до європейських стандартів;
- необхідність усунення проблем, пов`язаних із заторами, зокрема, на автомобільних дорогах;
- підвищення безпеки на транспорті з метою скорочення кількості ДТП;

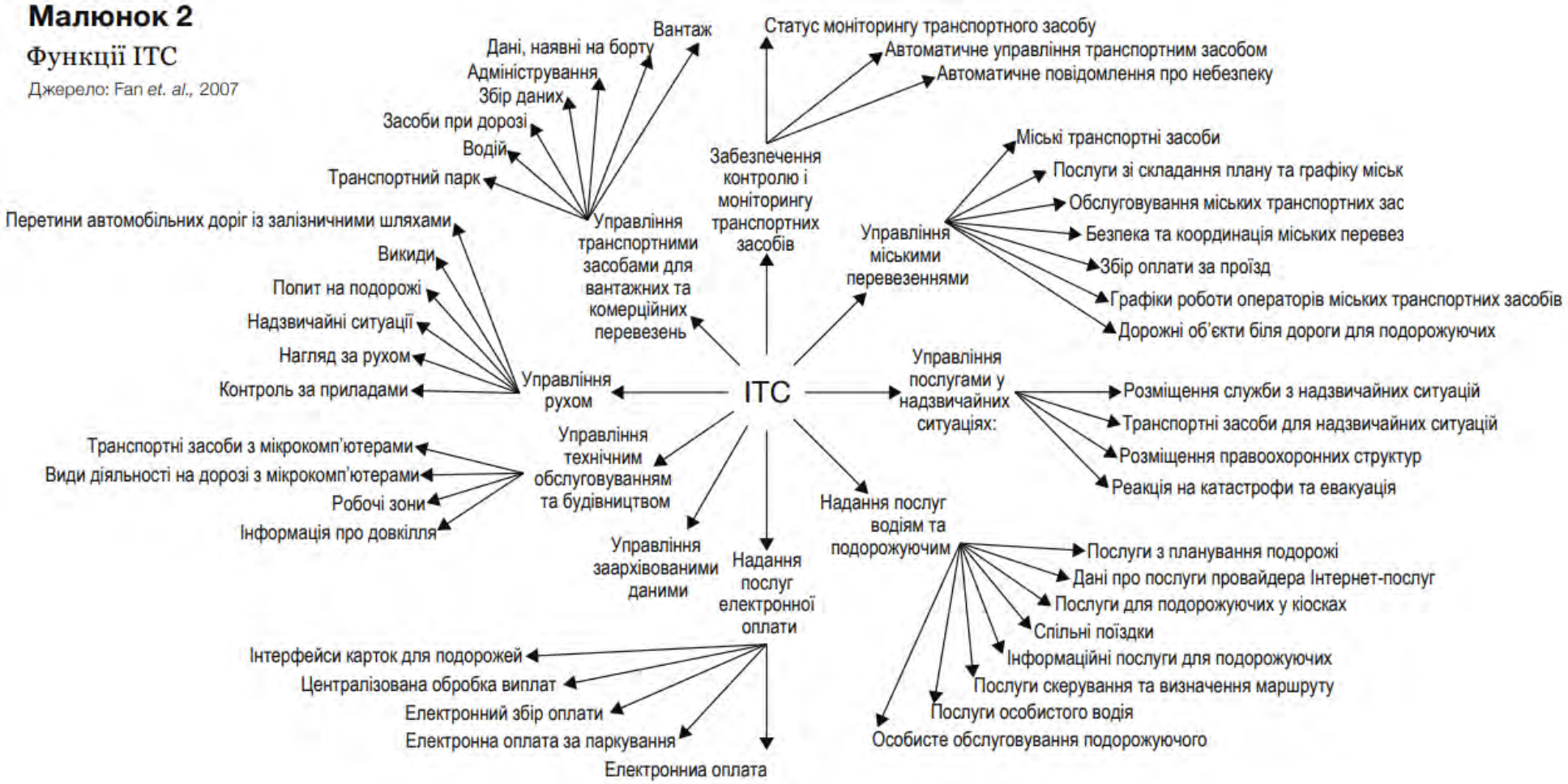


Рисунок 1.8 – Функції ITC [44]

- необхідність підвищення ефективності транспорту;
- розширення науково-дослідної діяльності;
- завершення транс'європейської транспортної мережі;
- покращення інтеграції автомобільного, залізничного, авіаційного та водного транспорту (морський та внутрішній водний транспорт) в єдиний логістичний ланцюг.

Досягнення цілей «Транспортної стратегії України до 2030 року» [6] можливе, зокрема, через запровадження телематичних систем на транспорті, які дозволяють об'єднати об'єкти інфраструктури, КТЗ та користувачів (операторів) КТЗ. Прикладом засобу телематики, що вже використовується, є смарт-тахограф, який дозволяє забезпечити взаємодію в режимі реального часу користувача, інфраструктури та КТЗ.

Смарт-тахограф – друге покоління цифрових контрольних пристроїв (тахографів), які мають додаткові функції визначення географічних координат та можливість бездротової передачі даних [46].

Нові функції повною мірою використовують телематичні системи, такі як супутникове позиціонування (GNSS) [47] та виділений зв'язок близької дії (DSRC) [48].

Схематично робота смарт-тахографа вказана на схемі (рис. 1.9)

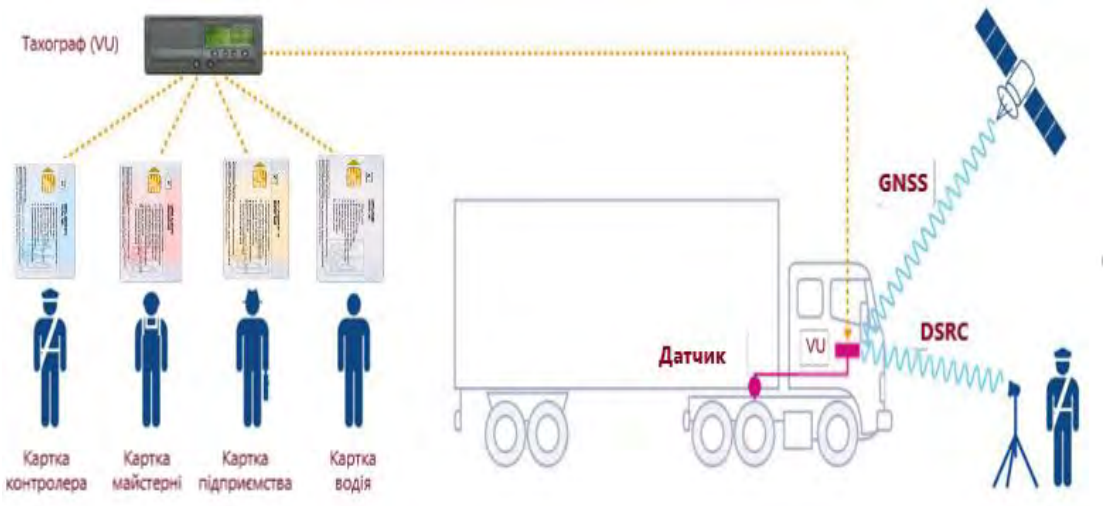


Рисунок 1.9 – Функціонування смарт-тахографа

Смарт-тахографи технічно мають можливість встановлювати зв’язок з іншими додатками телематики, такими як інтелектуальне паркування або додатки щодо оплати за дороги через гармонізований інтерфейс інтелектуальної транспортної системи за допомогою DSRC.

Впровадження смарт-тахографів сприятиме підвищенню рівня соціального захисту водіїв, безпеки дорожнього руху, добросовісній конкуренції на ринку послуг автомобільного транспорту, ускладнить маніпулювання даними тахографа, запровадить нові регламенти роботи майстерень з обслуговування тахографів, підвищить ефективність системи контролю режимів праці та відпочинку водіїв, а також дозволить скоротити адміністративні витрати.

Сучасні системи, що забезпечують істотне підвищення ефективності керування КТЗ – це геоінформаційні системи (ГІС) [49].

Сучасні ГІС включають: бази даних (БД) та технології обробки інформації із БД, які дозволяють проводити експертні оцінки у різних ситуаціях, а тому ГІС слід розглядати як невід’ємну частину ІТС.

Однак, використання ГІС не є ефективним без використання систем визначення місцезнаходження та формування напрямку руху КТЗ. Такі системи на сьогодні досить широко використовуються на різних видах транспорту і відомі як системи навігації [50].

Основу сучасних систем навігації складають Системи Реалізації Навігаційних Обчислень (СРНО), основною функцією яких є визначення просторово-часових координат безпосередньо споживача. Безперервність і висока точність навігації вимагають від СРНО обов'язкової наявності трьох складових [50]:

– системи космічних апаратів у вигляді мережі навігаційних супутників;

– системи контролю і керування у вигляді наземних командно-вимірювальних комплексів;

– апаратури споживача або «приймача».

Серед відомих систем супутникової навігації можна виділити [50]:

- GPS (Global Positioning System - глобальна система позиціонування) американська система, яка дозволяє визначати географічні координати і висоту розташування рухомого об'єкта з високою точністю (від 2 до 5 м);

- європейська система Galileo;

- китайська система космічної радіонавігації Beidou.

Для роботи з системою супутникової навігації використовується пристрій, що розташовується на досліджуваному об’єкті та носить назву загальну GPS-навігатор (хоча, при цьому, може використовувати окрім системи GPS також супутники Galileo або Beidou). GPS-навігатори за «виконанням» поділяються на три основні групи [50]:

- портативні пристрої (туристичні, транспортні, спортивні);

- вбудовані в якості функціонального елемента в інші прилади (у смартфони, тощо);

- GPS-трекеры й GPS-логери (пристрої, що здійснюють запис і передачу координат на серверний центр і використовуються для супутникового моніторингу автомобілів, людей, інших об'єктів).

Крім ГІС та навігаційних систем, які є додатковим обладнанням КТЗ, як елемент ІТС виступають також і вбудовані бортові системи сучасних КТЗ. Вони являють собою по суті комп’ютерні системи, функціонал яких постійно розширюється, що пов’язано із постійним розвитком КТЗ. Бортові системи КТЗ беруть свій початок від систем самодіагностики, які були індивідуальні для кожного автомобіля і дозволили швидко діагностувати несправність під час ТО. Перша стандартизована для багатьох автомобілів система бортової діагностики під назвою OBD I почала застосовуватись з 1988 року в штаті Каліфорнія (США) [51]. У 1994 році з’явилась система OBD II. Відмінності нової системи OBD II полягають у тому, що за допомогою неї перевіряється не тільки наявність електричних сигналів датчиків та виконавчих елементів, а також і достовірність цих сигналів (наприклад, 10 °С – надзвичайно низька температура при роботі двигуна, хоча електричний ланцюг датчика справний і система OBD I не виявить несправність у цьому випадку).

Система OBD (On-Board Diagnostics) з самого початку була направлена на здійснення контрольно-діагностичних функцій, що дозволяють визначити несправності, наявність яких могла би призвести до перевищення граничних допустимих норм викидів шкідливих речовин. Звичайно, що на викиди мають визначальний вплив в основному системи енергоустановки. Але з розвитком технологій електронного управління в системах КТЗ, сучасна система OBD дозволяє контролювати всі електронні пристрої КТЗ, об’єднані між собою у бортову мережу CAN (Controller Area Network), а розширення бортової системи забезпечить споживачам КТЗ здійснення дистанційного контролю практично всіх параметрів, до яких бортова система має доступ.

Саме можливості бортових систем КТЗ дозволяють розглядати сучасний КТЗ як частину ІТС.

1.4 Аналіз методів оцінювання експлуатаційної ефективності транспортних засобів

Експлуатація автомобільного транспорту супроводжується присутністю ряду негативних наслідків, одним з яких є забруднення навколишнього середовища. Враховуючи негативний вплив цих процесів на зовнішнє середовище, для прийняття необхідних рішень щодо зменшення цього впливу необхідно мати певний обсяг достовірної інформації про параметри цих процесів.

Забезпечення екологічної безпеки, обов'язкового дотримання екологічних стандартів і нормативів під час провадження діяльності у галузі транспорту та стимулювання розвитку енергозберігаючих й екологічно безпечних видів транспорту здійснюється реалізацією основних напрямів, зокрема:

- використання транспортних засобів, сервісні, технічні та економічні показники експлуатації яких відповідають сучасним європейським вимогам до безпечності, екологічності та енергоефективності транспорту;

- забезпечення доступності та підвищення якості транспортних послуг;

- інтеграція вітчизняної транспортної системи до європейської та міжнародної транспортних систем;

- забезпечення безпеки транспортних процесів шляхом упровадження сучасних інформаційних технологій здійснення контролю за безпекою на транспорті;

- підвищення екологічності та енергоефективності транспортних засобів шляхом оптимізації строку експлуатації, технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів.

На підставі цього можна спрогнозувати, що перспектива подальшого розвитку галузі визначатиметься, перш за все, розвитком конструкції та раціональним застосуванням КТЗ при одночасному зниженні витрат на перевезення. Дослідження впливу конструктивних параметрів на продуктивність та економічність рухомого складу є необхідною умовою удосконалення транспортних послуг. Обґрунтовані дослідженнями та досвідом, з урахуванням умов експлуатації, конструктивні параметри рухомого складу безпосередньо впливають на підвищення його продуктивності та економічності [52].

Продуктивність може визначатись як транспортна робота за одиницю часу, наприклад, за годину [53]. В цьому випадку продуктивність залежить від номінальної вантажопідйомності або пасажиромісткості, коефіцієнта динамічного використання вантажопідйомності (пасажиромісткості), коефіцієнта використання пробігу, технічної швидкості, довжини поїздки з вантажем (пасажирами) та часу навантаження-розвантаження (для вантажних перевезень). У випадку перевезення вантажів на значні відстані, де часом навантаження-розвантаження можливо знівелювати, коефіцієнт використання пробігу можна прийняти рівним 1, а коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності дорівнюватиме коефіцієнту статичного використання вантажопідйомності і в добутку з номінальною вантажопідйомністю дорівнюватиме масі вантажу, що перевозиться $M_в$. Продуктивність W визначається за формулою, т·км/год:

$$W = M_в \cdot V_T, \tag{1.1}$$

де V_T – технічна швидкість, яка являє собою середню швидкість за час руху.

Паливна економічність транспортних засобів визначається через питому витрату палива, яка дорівнює відношенню середньої витрати палива до транспортної роботи. Величина, обернена до питомої витрати палива, характеризує економічність транспортного засобу, і зменшення питомої витрати палива означає покращення економічності і навпаки [53].

Енергоефективність, у випадку оцінки ефективності використаним паливом, для вантажних автомобілів оцінюють його витратою, віднесеною до одиниці виконаної корисної роботи з перевезення вантажів [53].

Екологічність КТЗ визначається питомими викидами шкідливих речовин на одиницю пробігу КТЗ або на одиницю виконаної транспортної роботи [53].

1.5 Загальні принципи побудови інформаційних систем моніторингу показників експлуатаційної ефективності транспортних засобів

Одним з базових принципів побудови інформаційних систем моніторингу експлуатаційної ефективності КТЗ є ідентифікація КТЗ та режимів його руху в даних інфраструктурних умовах.

Ідентифікація транспортних засобів є важливим компонентом будь-якої системи управління рухом КТЗ, яка входить до ІТС. Завдяки використанню датчиків ідентифікації здійснюється зворотний зв’язок між центральним пунктом керування та дорожньої мережею. Сутність зворотного зв’язку в контурі автоматичного управління полягає в зборі інформації про параметри КТЗ та транспортних потоків. За принципом дії датчики дорожнього руху можливо розділити на три групи: контактного типу, випромінювання, вимірювання параметрів електромагнітних систем [50].

Розвиток засобів автоматичної ідентифікації відбувається шляхом автоматизації функції розпізнавання на основі використання останніх досягнень науки і техніки, які раніше виконувались вручну.

На сьогоднішній день засоби і технології автоматичної ідентифікації з області спеціального застосування переходять в повсякденне життя людей: при покупці товарів у магазинах, посадці в літак в аеропорту, експлуатації автомобіля, комп'ютера, замінюють ключі для входу в приміщення тощо.

Інформацію про характеристики потоків КТЗ в організації дорожнього руху і при обстеженні транспортних потоків можливо отримувати двома відомими способами: за допомогою вивчення документації про потоки транспортних засобів і безпосереднім спостереженням за КТЗ з фіксацією необхідних параметрів (в залежності від поставленої мети дослідження) об’єкту дослідження (рис. 1.10).

При виконанні документального вивчення проводиться дослідження матеріалу без безпосереднього виїзду на об'єкт (рис. 1.10), виходячи з наявної документації (проектної, звітної за результатами проведених досліджень тощо).

При виконанні натурних досліджень виконують фіксацію конкретних умов і показників дорожнього руху транспортних засобів в транспортних потоках, що відбувається протягом певного часу (рис. 1.10).

При виконанні обстеження дорожніх умов досліджують умови, що забезпечують безпеку при заданій швидкості руху транспортних засобів: достатню видимість дороги в напрямку руху, бічну видимість на перетинах, розпізнаваність всіх технічних засобів організації руху; відповідність основних геометричних параметрів елементів дороги габаритним розмірам і параметрам, що характеризують тип транспортних засобів, які переважають в даних умовах у транспортних потоках; стан покриття дороги (рівність, коефіцієнт зчеплення тощо).

При виконанні досліджень на стаціонарних постах збирають інформацію шляхом спостережень з використанням секундоміра, механічного лічильника, спеціальних бланків для обліку, або із застосуванням засобів автоматичної реєстрації, розташовуваних на стаціонарних постах.

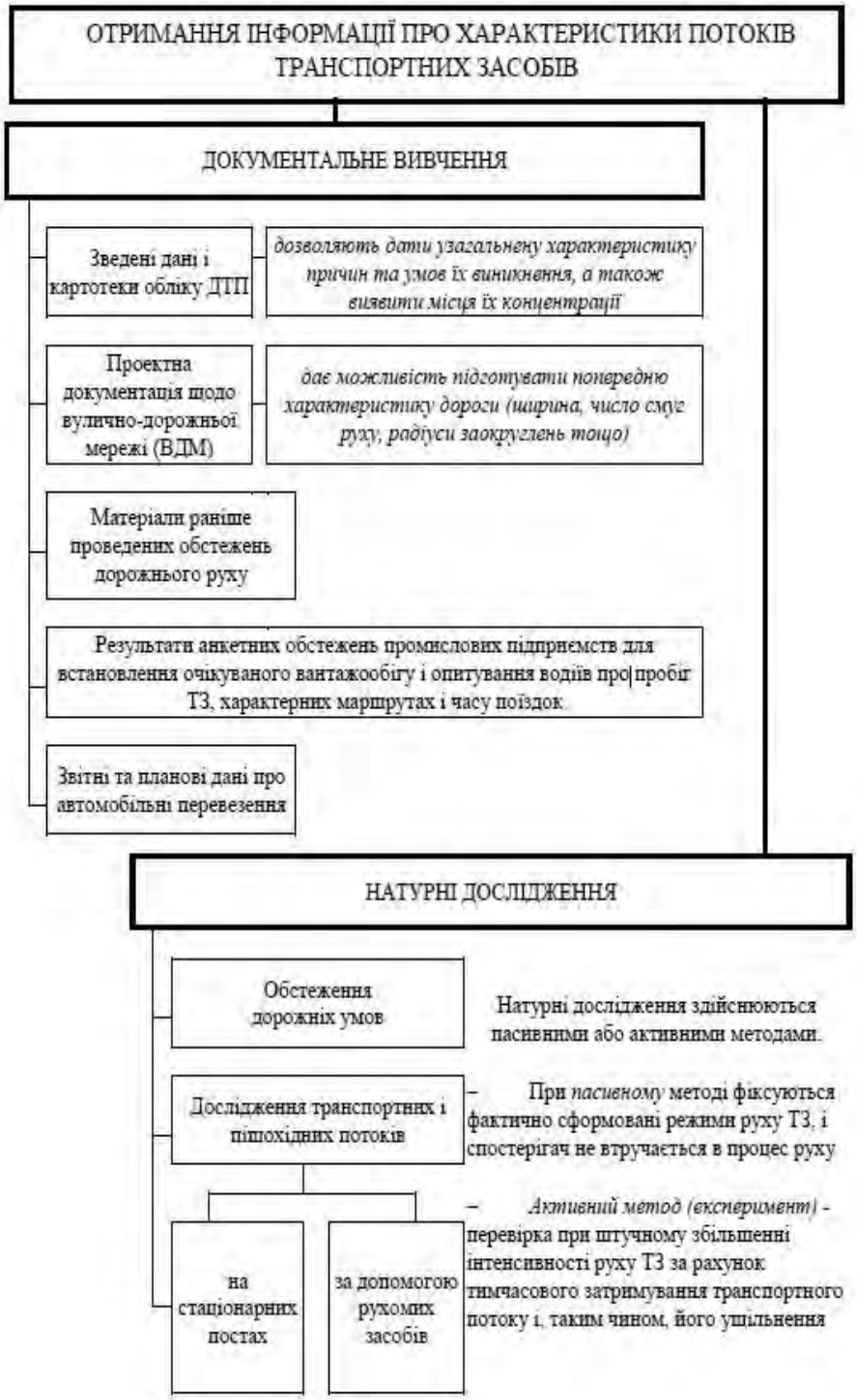


Рисунок 1.10 – Методи і засоби отримання інформації про характеристики потоків КТЗ [50]

Для отримання інформації про показники руху пости спостереження розташовують у всіх характерних вузлах на межі зони обстеження. Дані отримують наступними методами: опитуванням, талонним обстеженням, наклеюванням

ярликів, записуванням реєстраційних знаків. Вивчати рух транспортних засобів на стаціонарних постах можливо суцільним або вибірковим спостереженням.

Пости спостереження розташовують у характерних точках тяжіння транспортних потоків. У матриці результатів представляється основна, отримана при обстеженні інформація: у чисельнику - інтенсивність транспортного потоку авт/год, в знаменнику - швидкость переміщення км/год, по головним напрямкам.

Інформаційні системи, що використовують датчики дорожнього руху або системи обробки інформації, дозволяють автоматизувати процеси ідентифікації і визначення параметрів КТЗ в транспортних потоках. Однак, практичне використання отриманої інформації без її порівняльного аналізу з поточною інформацією від самих КТЗ може бути неефективним. Тому, для оцінювання і підвищення показників експлуатаційної ефективності транспортних засобів доцільним є комплексний аналіз усіх інформаційних потоків, які надходять до системи обробки даних як від датчиків інфраструктурного середовища, так і від датчиків КТЗ.

1.6 Основні стратегічні напрями підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ на основі інтелектуальних систем

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

Телематичні технології на автомобільному транспорті 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 висуваються вимоги забезпечення постійного під'єднання до мережі та реалізації комунікаційних технологій V2N, V2V, V2I, V2P [54].

Під час використання зазначених комунікаційних технологій отримання інформації про характеристики КТЗ можливе за допомогою використання відповідних засобів [50]:

- штрих-кодова ідентифікація транспортних засобів;
- радіочастотна ідентифікація;
- ідентифікація зображення номерного знака транспортного засобу з камер відеоспостереження;
- ідентифікація на основі смарт-карт;
- просторова ідентифікація транспортних засобів;
- ідентифікація КТЗ за VIN-кодом;
- ідентифікація КТЗ в системах керування транспортними операціями.

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

Тому, підвищення ефективності експлуатації як існуючих КТЗ, так і КТЗ нових рівнів розвитку на основі інтелектуальних телематичних технологій, які інтенсивно розвиваються і впроваджуються в транспортно-дорожньому комплексі, є важливою науково-технічною проблемою, актуальність якої з кожним роком зростає.

КТЗ створюють одну з найважливіших екологічних проблем, яка характеризується значним негативним впливом на екосистеми та здоров'я населення через забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин, надмірним

споживанням видобувних невідновлюваних палив і, відповідно, зростанням обсягів викидів в атмосферу парникових газів.

Основними споживачами палив і джерелами забруднюючих викидів є ЕУ КТЗ, ефективність паливовикористання та величини викидів яких визначають рівень екологічної безпеки як окремого автомобіля чи автобуса, так і парку КТЗ загалом [55]. Аналіз сучасних досягнень в створенні нових ЕУ і тенденцій зміни структури паливних ресурсів показує, що ЕУ, основою яких є поршневий ДВЗ, в найближчому майбутньому збережуть своє провідне становище як джерела енергії КТЗ.

Тому, досягнення зазначеної вище мети підвищення ефективності експлуатації КТЗ, на основі інтелектуальних телематичних технологій, неможливе без підвищення екологічної безпеки КТЗ з ЕУ на базі поршневих ДВЗ.

В свою чергу, паливна економічність та екологічні показники ЕУ визначаються її конструктивною схемою, яка формується шляхом вибору конструктивних елементів ДВЗ, систем подачі палива і повітря та випуску відпрацьованих газів (ВГ). В процесі експлуатації, з метою підвищення рівня екологічної безпеки КТЗ, конструктивна схема ЕУ може бути змінена шляхом удосконалення окремих систем, заміни або додаткового введення окремих елементів [56, 57, 59, 61], переобладнання для роботи на альтернативному виді палива [58, 60, 61], повної заміни ЕУ.

Всі зміни конструктивних схем ЕУ неоднозначно впливають як на паливно-економічні, енергетичні та екологічні показники ЕУ, так і на масові, габаритні, тягово-швидкісні, економічні та екологічні показники КТЗ, тому потребують додаткової оцінки їх ефективності в експлуатації КТЗ.

Використання телематичних технологій дозволить здійснювати не тільки моніторинг ефективності КТЗ зі зміненими характеристиками ЕУ, але і підвищувати ефективність їх експлуатації шляхом доцільного управління режимами роботи ЕУ та режимами руху КТЗ.

Висновки до розділу 1, мета і завдання дослідження

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

2. 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 якісного виконання ТО і ремонту КТЗ. Разом з тим, європейські технічні регламенти передбачають використання таких елементів інтелектуальних транспортних систем, що окрім контролю параметрів експлуатації КТЗ дозволяють також поліпшити окремі показники експлуатації КТЗ.

3. Розвиток комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій дозволяє використовувати на автомобільному транспорті інтелектуальні транспортні системи, які забезпечать управління транспортними засобами та дорожнім рухом, нададуть інформаційні послуги користувачам транспорту, підвищать 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.

4. До основних показників експлуатаційної ефективності КТЗ слід віднести продуктивність, що визначається за середньою технічною швидкістю руху КТЗ та обсягом перевезеного вантажу або пасажирів, паливну економічність, енергоефективність та екологічність.

5. Невід'ємною складовою процесу ефективної експлуатації КТЗ є інфраструктурне середовище. Для забезпечення ефективного моніторингу,

контролю та управління потоками КТЗ інфраструктурне середовище повинно мати відповідний рівень інформаційного забезпечення, що дозволяє здійснювате поточне вимірювання параметрів руху КТЗ з боку інфраструктури.

6. Основними стратегічними напрямами підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ є подальше підвищення екологічних, паливно-економічних та динамічних властивостей існуючих і нових КТЗ у поєднанні з ефективним впровадженням інтелектуальних систем в ці КТЗ та в інфраструктуру, де ці КТЗ експлуатуються.

З урахуванням виконаного аналізу, метою дослідження є розробка методів оцінювання та способів підвищення ефективності експлуатації КТЗ з сучасними енергоустановками 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 – Інфраструктура».

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі ієрархічно пов’язані 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.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В СИСТЕМІ КТЗ – ІНФРАСТРУКТУРА

2.1 Системний підхід до управління експлуатаційною ефективністю КТЗ

Ефективність використання того чи іншого КТЗ в експлуатаційних (інфраструктурних) умовах суттєво залежить від рівня реалізації основних морфологічних ознак функціональних елементів системи «КТЗ – Інфраструктура» [62-64].

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 [53].

Системний підхід передбачає застосування упорядкованої сукупності методик, способів і прийомів, що застосовуються для кількісного порівняння можливих альтернативних варіантів об’єктів дослідження з метою вибору варіанту, що підлягає реалізації. Тобто, системний підхід дає можливість визначення кількісних характеристик властивостей КТЗ, впливу на них різних факторів, таких як параметри самих КТЗ, параметри інфраструктурного середовища та умов експлуатації, а також визначати вплив КТЗ на навколишнє природне середовище у даних інфраструктурних умовах.

Як відомо [53], структура системного дослідження об’єкта включає три основних етапи:

- постановка задачі дослідження;
- моделювання властивостей об’єкта;

- оцінювання властивостей об’єкта.

Під час першого етапу формується загальна схема побудови системи, визначаються критерії оцінювання, можливі варіанти вирішення поставленої задачі. Під час другого етапу розробляється модель для дослідження варіантів вирішення поставленої задачі. Третій етап присвячено оцінюванню ефективності запропонованих варіантів вирішення поставленої задачі відповідно до запропонованих критеріїв.

Реалізація структури системного дослідження до вирішення задачі управління експлуатаційною ефективністю КТЗ [222] зображена на рис. 2.1.

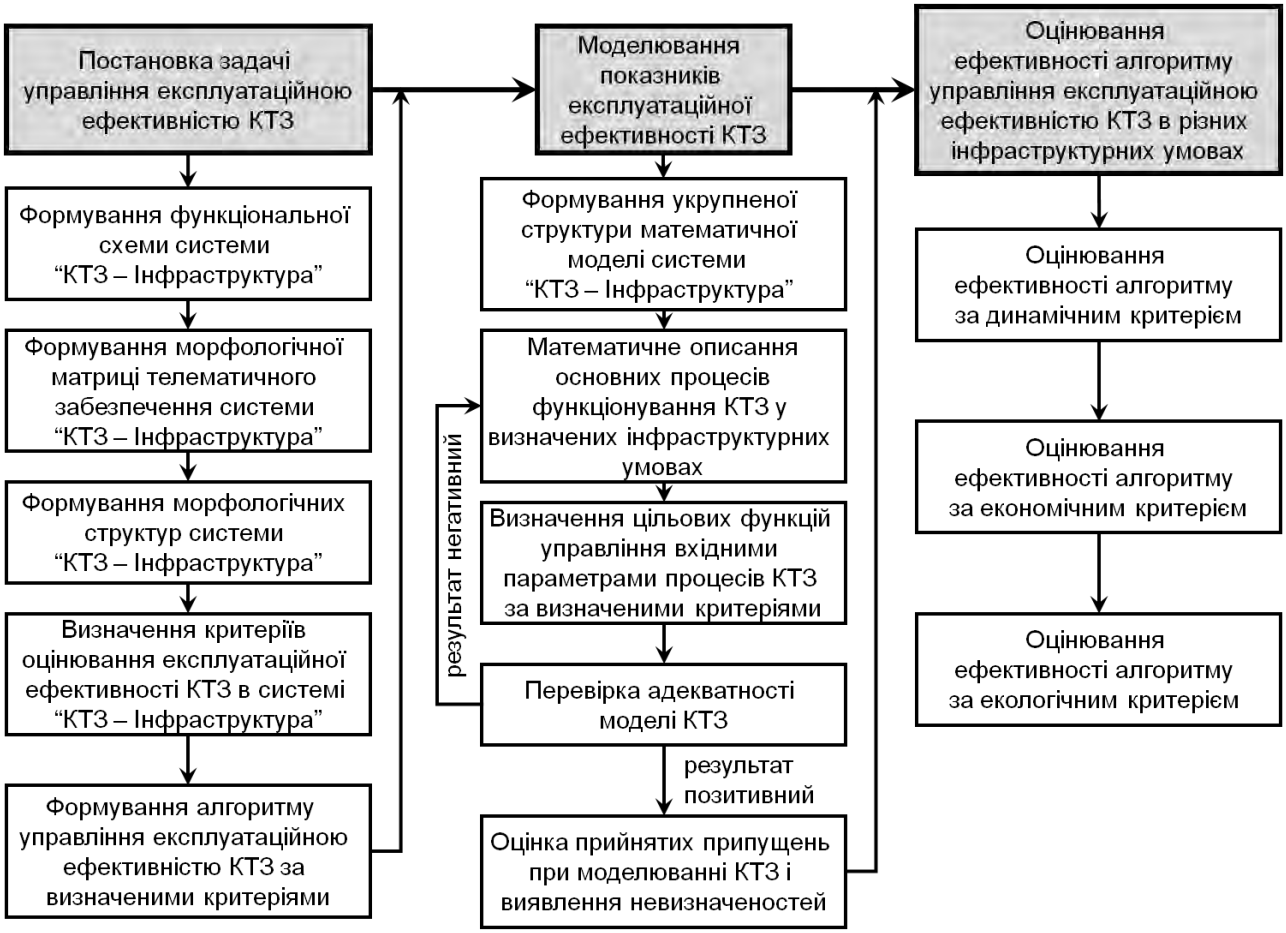


Рисунок 2.1 – Загальна структура системного підходу до управління експлуатаційною ефективністю КТЗ

Вирішення даної задачі здійснюється шляхом формування функціональної схеми системи «КТЗ-Інфраструктура», яка представляє основні процеси взаємодії елементів КТЗ з інфраструктурним середовищем. Аналіз зв'язків функціональної схеми дозволяє сформувати морфологічну матрицю телематичного забезпечення досліджуваної системи. На основі морфологічної матриці формуються різні морфологічні структури телематичного забезпечення елементів системи, які представляють відповідні варіанти комплектацій КТЗ та умов інфраструктурного середовища. Для оцінювання ефективності запропонованих варіантів морфологічних структур системи розробляється комплекс критеріїв експлуатаційної ефективності КТЗ. Для практичної реалізації пропонується алгоритм управління експлуатаційною ефективністю КТЗ на основі запропонованих критеріїв.

Етап моделювання показників експлуатаційної ефективності КТЗ забезпечується на основі формування укрупненої структури математичної моделі системи «КТЗ-Інфраструктура». Відповідно до структури моделі здійснюється математичне описання основних процесів функціонування КТЗ у визначених інфраструктурних умовах та визначення цільових функцій управління вхідними параметрами процесів КТЗ за визначеними критеріями. Отримана математична модель КТЗ перевіряється на адекватність, виконується оцінка прийнятих в моделі припущень та виявляються невизначеності.

На третьому етапі дослідження здійснюється оцінювання ефективності окремих варіантів морфологічних структур телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура» за окремими (динамічним, економічним, екологічним та інтегральним) критеріями.

2.2 Побудова системи «КТЗ – Інфраструктура»

Система «КТЗ – інфраструктура» як об'єкт дослідження описує процеси руху КТЗ з сучасними (тепловими, електричними, гібридними) енергоустановками 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 (обмеження) ефективності експлуатації та параметри управління процесами (зворотні зв'язки) на основі актуальної інформації внутрішньої системи моніторингу технічного стану та режимів руху КТЗ, а також інформації зовнішнього інфраструктурного середовища, що визначає реальні експлуатаційні умови (дорожні, транспортні, метеорологічні тощо) [50, 65].

Представлена функціональна схема системи «КТЗ-Інфраструктура» (рис. 2.2) об'єднує чотири основних процеси:

- перетворення вихідної енергії у механічну (рівень *A*, енергоустановка);
- передача механічної енергії до коліс КТЗ (рівень *C*, трансмісія);
- перетворення обертального руху коліс в поступальний рух КТЗ (рівень *E*, ходова частина);
- зміна режимів та напрямків руху відповідно до заданого закону руху в результаті взаємодії КТЗ з транспортною інфраструктурою (рівень *G*, інфраструктурне середовище).

Процеси пов'язані між собою та зовнішнім середовищем за допомогою масових, енергетичних та інформаційних зв'язків.

Процес рівня *A* відбувається в енергоустановці КТЗ. Входом цього процесу є кількість поданої вихідної енергії $E_{вих}$ (залежно від типу енергоустановки – палива, електричної енергії, тощо), повна маса КТЗ M_a, маса спорядженого КТЗ M_0, початкові значення температур двигуна t_{ep} та каталітичного нейтралізатора t_{kp}. Параметри навколишнього середовища характеризується тиском p_0 та температурою T_0. Інформація про кількісні значення вхідних параметрів отримується з інформаційної системи *OBD* (Inf_{OBD}). Виходом процесу рівня *A* є отримана механічна енергія, що характеризується крутним моментом M_e і частотою обертання $n_д$ вихідного вала двигуна, питома ефективна витрата енергії g_e (МДж/кВт год), питомі викиди шкідливих речовин g_i (г/кВт год), кінцеві значення температур двигуна t_{ef} та каталітичного нейтралізатора $t_{k\ f}$. Взаємодія з навколишнім середовищем відбувається у вигляді викидів шкідливих речовин та теплового випромінювання.

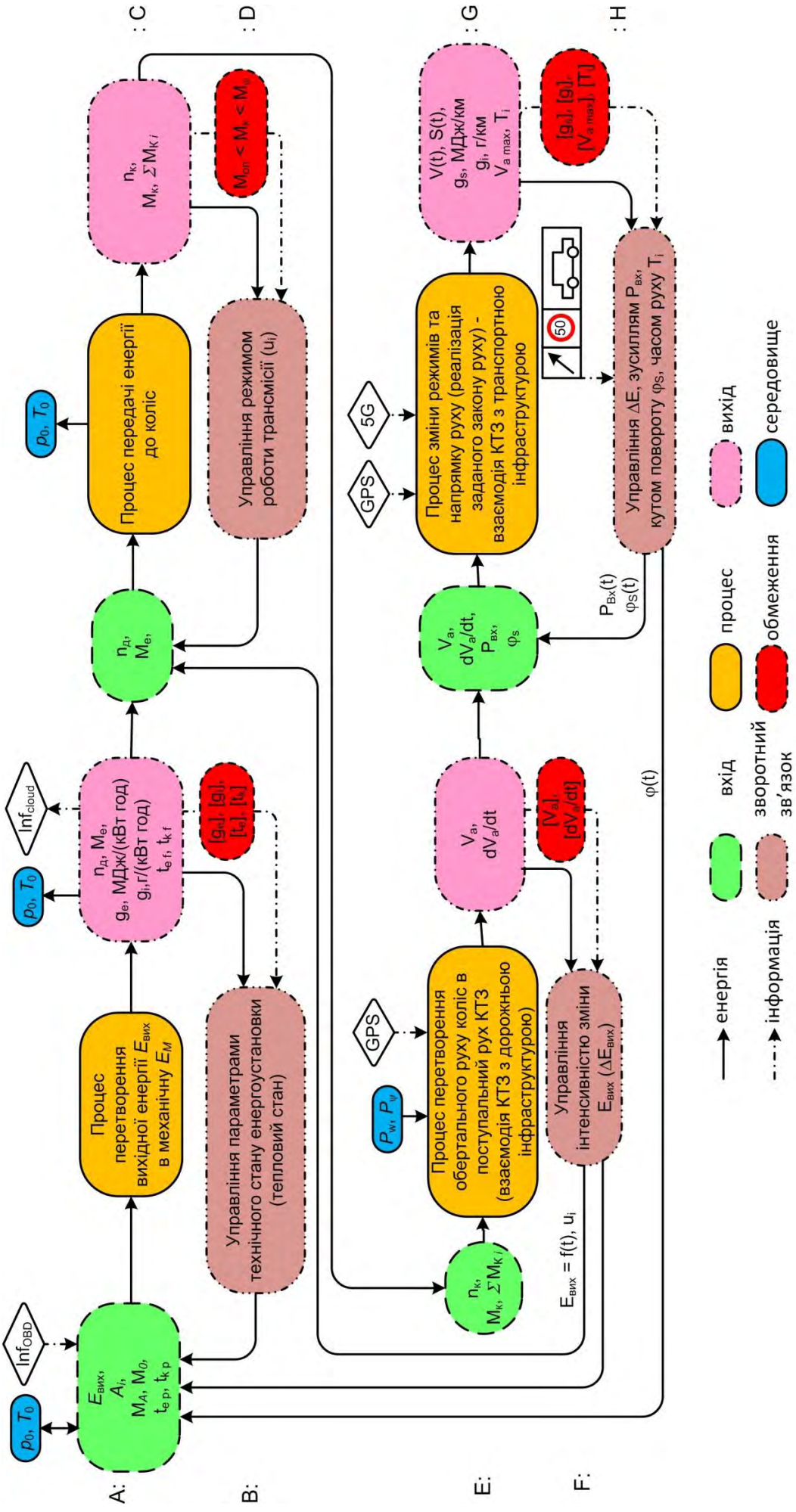


Рисунок 2.2 – Функціональна схема системи «Колісні транспортні засоби – Інфраструктура»

Інформація про отримані вихідні показники енергоустановки передається у інформаційне хмарне середовище Inf_{cloud}. Обмеженнями процесу рівня A є граничні значення питомої ефективної витрати енергії [g_{e}], питомих викидів шкідливих речовин [g_{i}], температур двигуна [t_{e}] та каталітичного нейтралізатора [t_{k}].

Для досягнення цільових значень вихідних параметрів за допомогою зворотного зв'язку (рівень B) здійснюється управління параметрами технічного стану енергоустановки, зокрема, тепловим станом її окремих елементів.

Процес рівня C відбувається в трансмісії КТЗ. Входом цього процесу є крутний момент M_{e} і частота обертання $n_{\text{д}}$ вихідного валу двигуна. Взаємодія з навколишнім середовищем на цьому рівні відбувається у результаті енергетичних теплових втрат внаслідок тертя в елементах трансмісії в процесі передачі енергії до коліс КТЗ. Виходом процесу рівня C є механічна енергія на ведучих колесах КТЗ, що характеризується частотою обертання $n_{\text{к}}$ та крутним моментом $M_{\text{к}}$. Обмеженням процесу рівня C є значення крутного моменту на ведучих колесах $M_{\text{к}}$, що має забезпечувати подолання моменту опору $M_{\text{ОП}}$ руху КТЗ за умови надійного зчеплення коліс з дорожньою поверхнею (M_{φ}). Досягнення умов цього обмеження реалізується шляхом управляння режимом роботи трансмісії за допомогою зворотного зв'язку (рівень D), зокрема, вибором передаточного числа трансмісії u_{i}.

Процес рівня E відбувається в ходовій частині КТЗ. Входом процесу є крутний момент $M_{\text{к}}$ і частота обертання ведучих коліс $n_{\text{к}}$. Взаємодія з інфраструктурним середовищем на цьому рівні здійснюється шляхом долання сил дорожнього опору P_{ψ} та опору повітряного потоку P_{w}. Для забезпечення ефективної взаємодії КТЗ з дорожньою інфраструктурою в процесі автономного управління швидкістю руху використовується інформація про технічні характеристики дороги, отримана за допомогою системи *GPS*. Виходом процесу є швидкість руху V_{a} та прискорення dV_{a}/dt КТЗ. Обмеженнями процесу є ефективні швидкість [V_{a}] та прискорення [dV_{a}/dt] КТЗ, при яких будуть забезпечені максимальна продуктивності та мінімальні витрати енергії і викиди. Для досягнення умов, визначених даними обмеженнями, за допомогою зворотного зв'язку (рівень F) здійснюється управління інтенсивністю

зміни вихідної енергії $E_{вих}$ КТЗ в енергоустановці ($E_{вих}$ = f*(t)*) й управління трансмісією (u_i).

Процес рівня *G* відбувається в інфраструктурному середовищі. Входом процесу є швидкість руху V_a, прискорення dV_a/dt КТЗ, зусилля $P_{вх}$ та кут повороту φ_s керованих коліс, які створюються виконавчими пристроями гальмівної системи та кермового керування. Для забезпечення ефективної взаємодії КТЗ з транспортною інфраструктурою в процесі автономного управління режимами та напрямком руху використовується інформація про транспортні умови інфраструктурного середовища (інтенсивність дорожнього руху на можливих маршрутах), отримана за допомогою віддалених серверів аналізу дорожнього руху та передана до бортових пристроїв КТЗ разом із інформацією про поточне місцезнаходження КТЗ (*GPS*) з використанням мережі *5G*. Виходом процесу є реалізований швидкісний закон руху КТЗ на маршруті (*V(t)*, *S(t)*) із відповідними шляховими витратами енергії g_s (МДж/км) та викидами шкідливих речовин g_i (г/км), досягнута максимальна швидкість на маршруті V_{amax}, час руху T_i. Обмеженнями системи є граничні значення шляхових витрати енергії [g_s] та викидів шкідливих речовин [g_i], максимальної швидкості КТЗ на маршруті [V_{amax}], часу руху КТЗ [T_i]. Досягнення цільових вихідних показників КТЗ та обмежень системи забезпечується управлінням інтенсивністю зміни вихідної енергії $\Delta E_{вих}$ через виконавчий пристрій управління режимом роботи енергоустановки ($\varphi(t)$), зусиллям $P_{вх}$ та кутом повороту φ_s, які створюються виконавчими пристроями гальмівної системи ($P_{вх}(t)$) та кермового керування ($\varphi_s(t)$), часом руху КТЗ T_i. Дані управляючі дії здійснюються за допомогою зворотного зв'язку (рівень *H*) з урахуванням інформації від засобів інформаційного забезпечення учасників дорожнього руху.

Ефективність функціонування системи залежить від рівня телематичного забезпечення її основних функціональних елементів, яке дозволяє отримувати, обробляти й аналізувати інформацію про технічний стан та режими руху КТЗ й управляти ними з метою досягнення максимальної продуктивності (максимально можливої за умов виконання вимог безпеки швидкості) при мінімальних питомих

витратах енергії (МДж/км, МДж/ткм, МДж/пас.км) та викидах (г/км, г/ткм, г/пас.км) в заданих умовах інфраструктурного середовища [50, 65].

Рівень телематичного забезпечення функціонального елемента «КТЗ» характеризується такими морфологічними ознаками (рис. 2.3) [221]:

- наявність засобів ідентифікації технічних характеристик КТЗ та його підсистем;

- наявність засобів безперервного моніторингу параметрів технічного стану КТЗ;

- наявність засобів контролю поточних швидкості КТЗ, витрати енергії та забруднюючих викидів;

- наявність засобів просторової ідентифікації режимів руху КТЗ;

- наявність сучасних телекомунікаційних технологій для зв’язку з іншими елементами системи;

- рівень автоматизації управління рухом КТЗ;

- наявність засобів контролю характеристик оператора;

- наявність засобів контролю параметрів внутрішнього і зовнішнього середовища.

Рівень телематичного забезпечення функціонального елемента «Інфраструктура» (рис. 2.4) характеризується наступними морфологічними ознаками:

- наявність засобів ідентифікації зовнішніх метеорологічних умов;

- наявність засобів ідентифікації характеристик дороги;

- наявність засобів ідентифікації КТЗ та швидкості їх руху;

- наявність засобів контролю складу транспортного потоку та його інтенсивності;

- рівень організації дорожнього руху;

- рівень інформаційного забезпечення учасників руху;

- рівень системи телекомунікації;

- наявність телекомунікаційних технологій з учасниками руху.

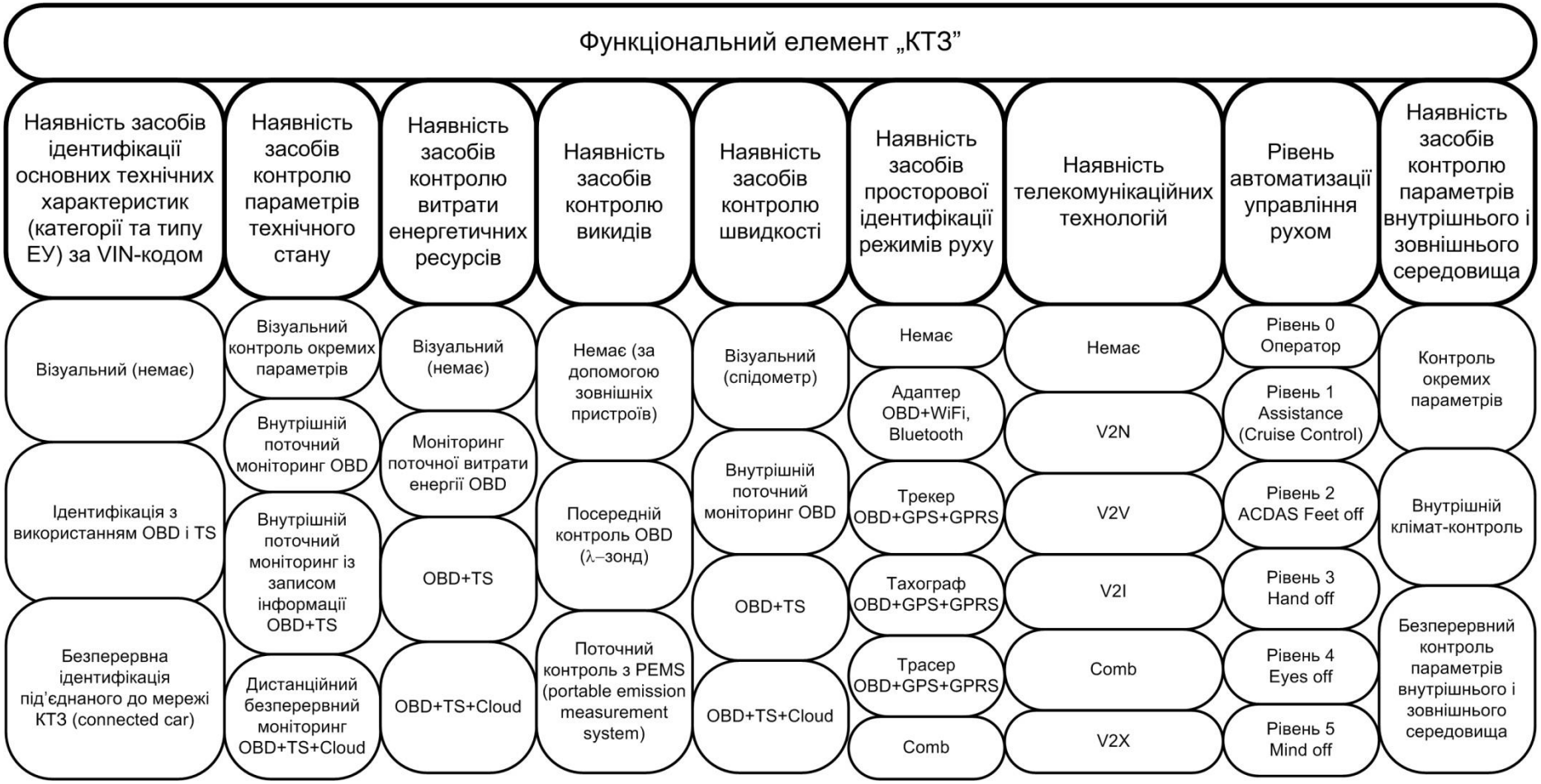


Рисунок 2.3. – Морфологічна матриця телематичного забезпечення системи «Колісні транспортні засоби – Інфраструктура»: функціональний елемент «КТЗ»

Рисунок 2.4 – Морфологічна матриця телематичного забезпечення системи «Колісні транспортні засоби – Інфраструктура»: функціональний елемент «Інфраструктурне середовище»

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 – Інфраструктура», яка загалом визначає ефективність її функціонування.

Для оцінювання конкретної морфологічної структури запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура» та її функціональних елементів [188], який враховує рівень розвитку варіантів реалізації основних морфологічних ознак телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктури.

Метод ґрунтується на принципі рівнозначності морфологічних ознак (кожна ознака має однаковий вплив на рівень розвитку) та дозволяє оцінювати морфологічну структуру системи за шкалою від 0 до 5 (за основу взято ознаку «Рівень автоматизації управління рухом КТЗ»: 0 – найнижчий (базовий) рівень; 5 – найвищий рівень (повна автономність).

Рівень розвитку телематичного забезпечення окремої морфологічної ознаки:

$$P_i = 5 \cdot (j_i - 1)/(n_i - 1), \qquad (2.1)$$

де j_i – номер варіанта реалізації і-тої морфологічної ознаки;

n_i – число варіантів реалізації і-тої морфологічної ознаки.

Рівень розвитку телематичного забезпечення КТЗ:

$$P_{КТЗ} = \Sigma P_i^{КТЗ} / m_{КТЗ}, \qquad (2.2)$$

де $\Sigma P_i^{КТЗ}$ – сума рівнів розвитку телематичного забезпечення усіх морфологічних ознак КТЗ;

$m_{КТЗ}$ – кількість морфологічних ознак КТЗ.

Рівень розвитку телематичного забезпечення інфраструктури:

$$P_{Інф} = \Sigma P_i^{Інф} / m_{Інф}, \quad (2.3)$$

де $\Sigma P_i^{Інф}$ – сума рівнів розвитку телематичного забезпечення усіх морфологічних ознак інфраструктури;

$m_{Інф}$ – кількість морфологічних ознак інфраструктури.

Рівень розвитку телематичного забезпечення системи "КТЗ - Інфраструктура":

$$P_{КТЗ\text{-}Інф} = (P_{КТЗ} + P_{Інф})/2. \quad (2.4)$$

У разі відсутності засобів для реалізації телематичного забезпечення за відповідними морфологічними ознаками функціональних елементів системи формується морфологічна структура «Базовий КТЗ в традиційній інфраструктурі» (рис. 2.5). Рівень розвитку базової структури дорівнює $P_{КТЗ\ Інф} = 0$.

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 – Інфраструктура».

Так, реалізація морфологічної структури «Підключений КТЗ в інфраструктурі з розширеним контролем параметрів» (рис. 2.6) передбачає використання в КТЗ пристроїв підключення до системи OBD та зв'язку з віддаленим сервером бази даних, телекомунікаційних технологій рівня «Vehicle to Network» [54], рівня 1 автоматизації управління рухом (Cruise Control) [66] та клімат-контролю [67]. Інфраструктурне середовище може мати засоби контролю фізичних параметрів навколишнього середовища, засоби ідентифікації технічних характеристик дороги на основі статистичної інформації із бази даних, індуктивні датчики контролю інтенсивності і складу транспортного потоку, відеокамери безперервного контролю швидкості КТЗ, адаптивне інформаційне забезпечення учасників руху, транспорто-залежне управління дорожнім рухом, підключення до інформаційної мережі (Infrastructure to Network) за допомогою стандартів зв'язку рівня 3-4G [50, 65].

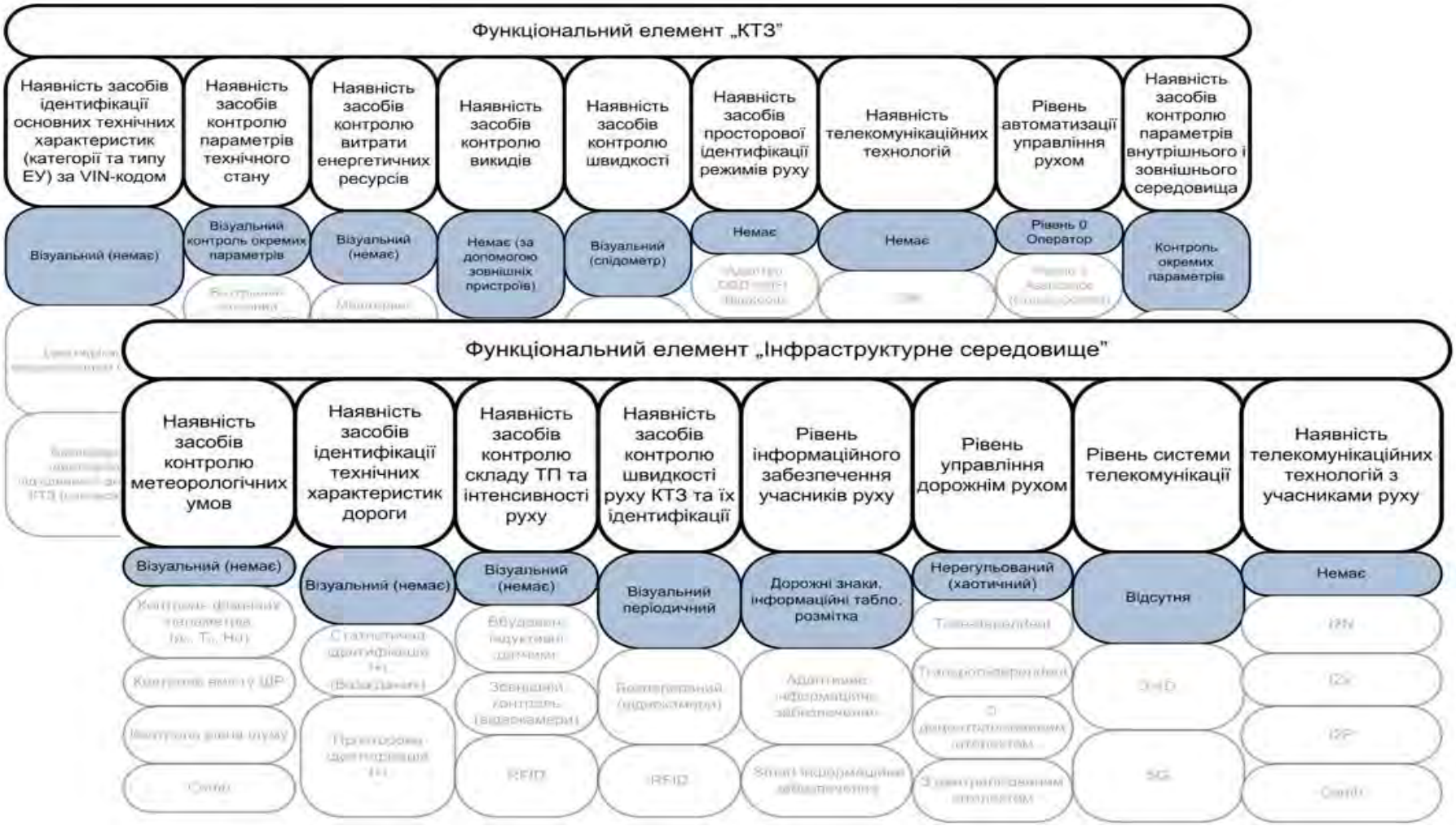


Рисунок 2.5 – Реалізація морфологічної структури «Базовий КТЗ в традиційній інфраструктурі»

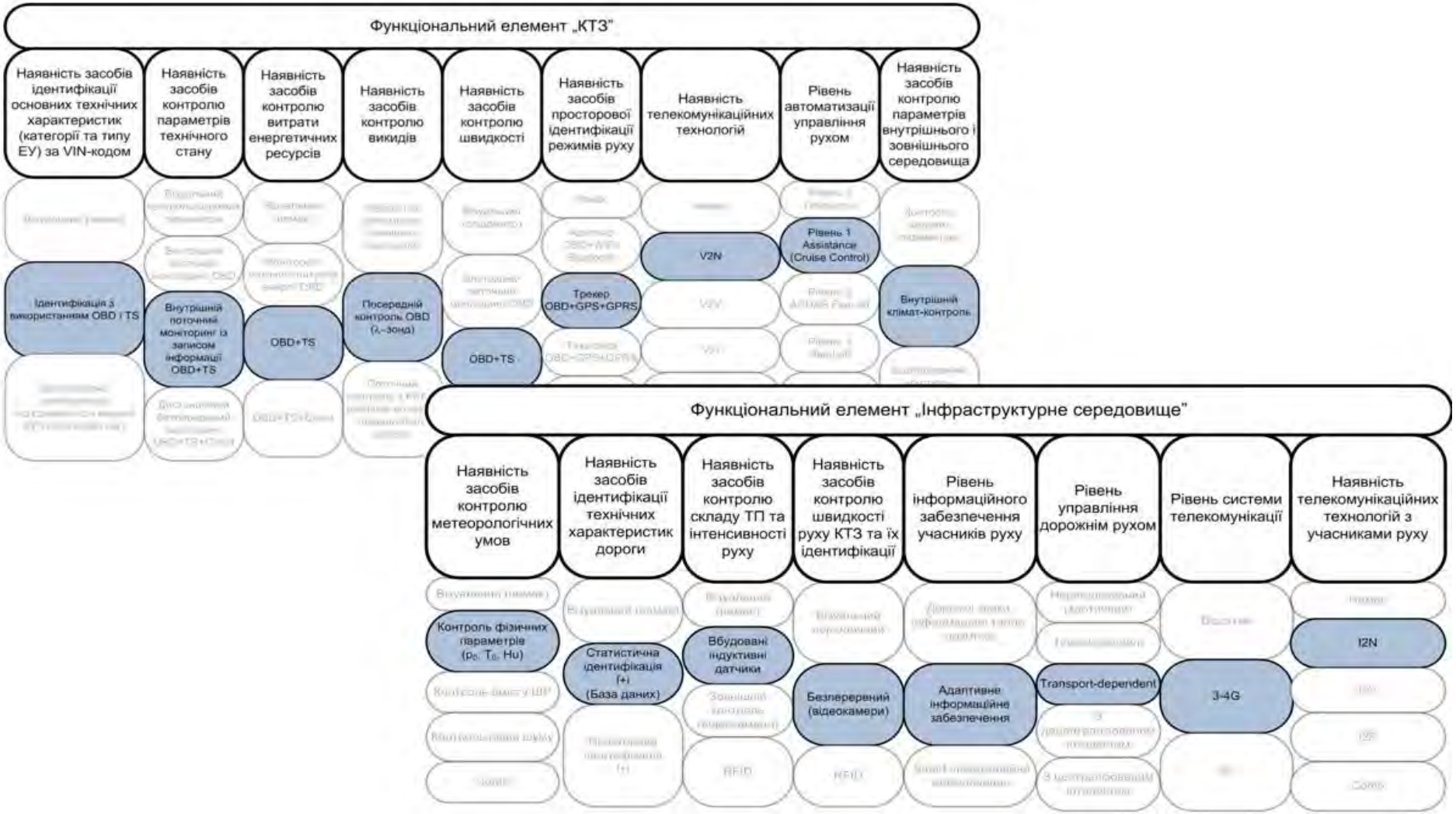


Рисунок 2.6 – Реалізація морфологічної структури «Підключений КТЗ в інфраструктурі з розширеним контролем параметрів»

Для реалізації зазначеної структури «Підключений КТЗ в інфраструктурі з розширеним контролем параметрів» можуть використовуватись відповідні апаратно-програмні рішення, що залежать від типу КТЗ. Наприклад, 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 [50, 65]. Дана система використовує бортове обладнання стандарту OBD-II, 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 й отримують зворотну інформацію для ефективного управління КТЗ. Рівень розвитку такої структури морфологічного забезпечення підвищується до $P_{КТЗ\text{-}Інф} = 2{,}46$.

До основних елементів зазначеного ІПК, що забезпечують збір, відтворення і передачу до віддаленого серверу даних інформації OBD, відносяться відповідний адаптер та інформаційний пристрій (наприклад, смартфон з відповідним програмним забезпеченням), які встановлюють у салоні КТЗ [50, 65]. Це забезпечує аналіз отриманої інформації про основні робочі процеси двигуна, каталітичного нейтралізатора і КТЗ в он-лайн режимі на автоматизованому робочому місці транспортного підприємства для ефективної експлуатації КТЗ в умовах інфраструктурного середовища.

Алгоритми роботи автоматизованого робочого місця транспортного підприємства передбачають обробку вхідних даних від бортової системи *OBD*, отримані в умовах експлуатації КТЗ в інфраструктурному середовищі, та даних супутникової системи GPS про поточні швидкість та місцезнаходження КТЗ для отримання масиву параметрів про поточні характеристики маршруту КТЗ та їх використання у математичній моделі системи «колісний транспортний засіб» для визначення показників екологічної безпеки при русі КТЗ на реальному маршруті та інших цільових показників ефективності експлуатації КТЗ.

Реалізація перспективної морфологічної структури «Підключений до інфраструктури КТЗ з повним контролем параметрів» (рис. 2.7) передбачає використання в КТЗ пристроїв підключення до системи OBD та зв'язку з віддаленим сервером бази даних, що забезпечують його безперервну ідентифікацію в мережі (connected car), дистанційний моніторинг технічних параметрів КТЗ та безпосередній контроль викидів зі збереженням у хмарному сховищі даних, телекомунікаційних технологій рівня «Vehicle to Infrastructure» [68], рівня 3 автоматизації управління рухом (Hand off) та безперервного контролю параметрів внутрішнього і зовнішнього середовища КТЗ. Інфраструктурне середовище може мати засоби контролю фізичних параметрів навколишнього середовища, вмісту шкідливих речовин та рівня шуму, засоби просторової ідентифікації технічних характеристик дороги, RFID-датчики контролю інтенсивності і складу транспортного потоку та контролю швидкості окремих КТЗ, інтелектуальне інформаційне забезпечення учасників руху та управління дорожнім рухом, підключення за допомогою інформаційної мережі зі стандартами зв'язку рівня 5G до інформаційних пристроїв окремих КТЗ (Infrastructure to Vehicle) [69]. Така структура телематичного забезпечення системи «КТЗ-Інфраструктура» підвищує рівень її розвитку до 4,47.

2.3 Визначення критеріїв оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в системі «КТЗ – Інфраструктура»

Критерії оцінювання експлуатаційної ефективності ТЗ в системі «КТЗ – Інфраструктура» повинні дозволяти оцінювати ефективність різних варіантів морфологічних структур телематичного забезпечення системи [53].

Під експлуатаційною ефективністю ТЗ, в першу чергу, розуміється ефективність здійснення транспортної роботи. Крім того, ефективність з економічної точки зору передбачає врахування кількості витраченого палива.

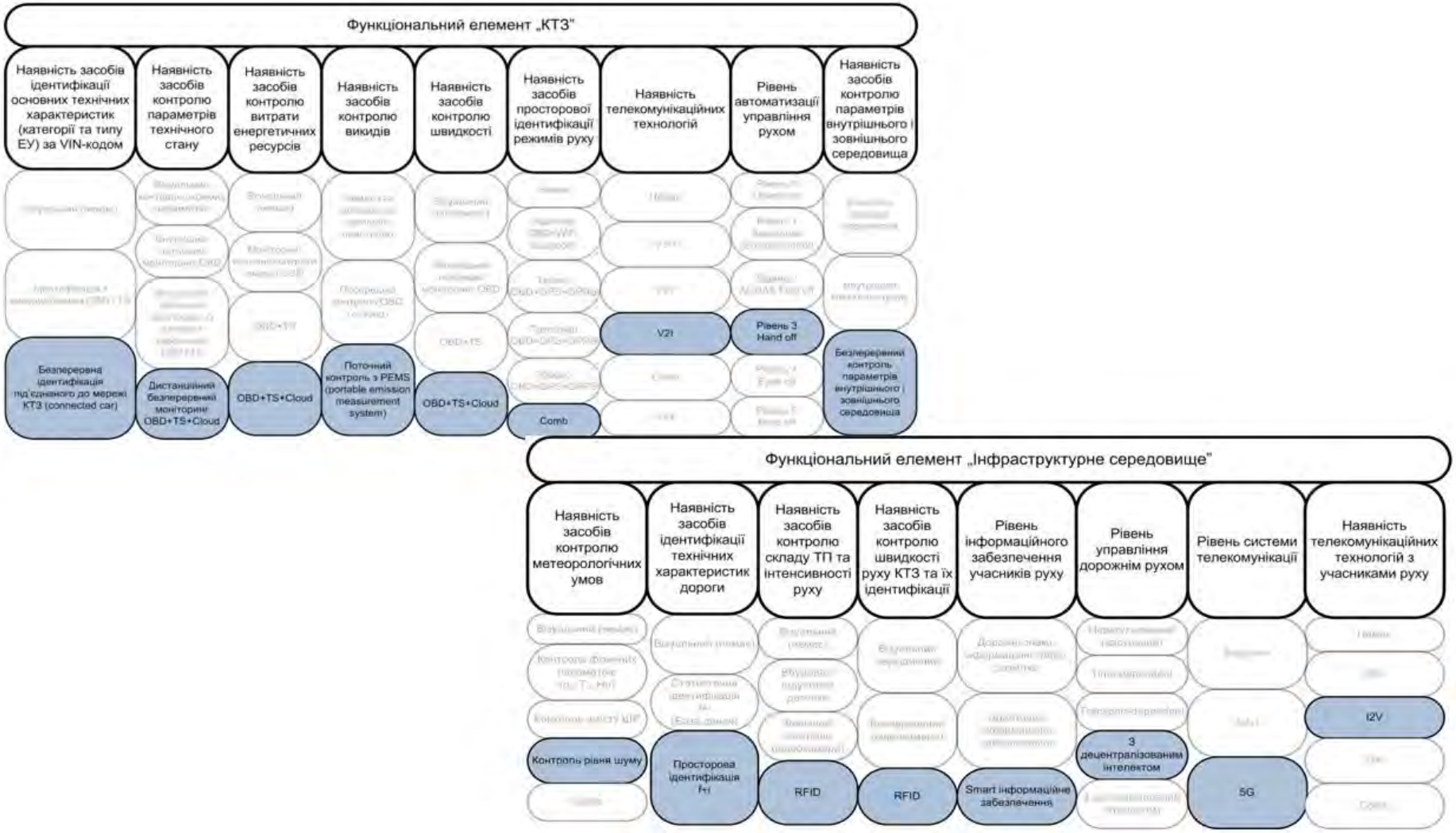


Рисунок 2.7 – Реалізація морфологічної структури «Підключений до інфраструктури КТЗ з повним контролем параметрів»

В більш широкому розумінні у разі використання гібридних або електричних ТЗ під економічною ефективністю потрібно розуміти кількість витраченої енергії, підведеної до енергоустановки. Шкідливий вплив ТЗ також характеризує негативну сторону ефективності експлуатації. Тому, кількість викинутих шкідливих речовин також необхідно враховувати.

Таким чином, окремими показниками ефективності експлуатації ТЗ будуть абсолютні витрати енергії $\Sigma E_{вих}$, МДж, абсолютні викиди і-тих шкідливих речовин ΣG_i, г, довжина маршруту $\Sigma S_{марш}$, км, маса перевезеного вантажу (M_a-M_0), кг, або кількість пасажирів, пас., витрачений час на виконання маршруту Σt, с.

За цими показниками можна кількісно оцінювати ефективність експлуатації окремих ТЗ. Однак, для порівняльної оцінки різних ТЗ необхідні питомі критерії.

Окремі критерії ефективності ЕУ використовуються для оцінювання ефективності засобів забезпечення технічного стану ЕУ. Для оцінювання ефективності енергоустановки в режимі холостого ходу доцільно використовувати, в якості критеріїв, питомі витрати енергії g_{ei}, МДж/(кВт·год), та викиди шкідливих речовин g_{ii}, г/(кВт·год), на одиницю індикаторної роботи двигуна. У навантажених режимах ефективність енергоустановки оцінюється критеріями питомих витрат енергії g_e і викидів шкідливих речовин g_i на одиницю ефективної роботи двигуна.

Поточна питома витрата енергії ЕУ в режимі холостого ходу, МДж/(кВт·год):

$$g_{ei} = E_{вих} \cdot 9550/(M_i \cdot n_д), \qquad (2.5)$$

де $E_{вих}$ – поточна витрата енергії ЕУ, МДж/год;

M_i – індикаторний крутний момент двигуна, Нм;

$n_д$ – частота обертання валу двигуна, хв$^{-1}$.

Поточні питомі викиди *i*-тої шкідливої речовини в режимі холостого ходу, г/(кВт·год):

$$g_{ii} = G_i \cdot 9550/(M_i \cdot n_д), \qquad (2.6)$$

де G_i – поточні викиди *i*-тої шкідливої речовини, г/год.

Поточна питома витрата енергії в навантаженому режимі, МДж/(кВт·год):

$$g_e = E_{вих} \cdot 9550/(M_e \cdot n_д), \quad (2.7)$$

де M_e – ефективний крутний момент двигуна, Нм.

Поточні питомі викиди *i*-тої шкідливої речовини в навантаженому режимі, г/(кВт·год):

$$g_i = G_i \cdot 9550/(M_e \cdot n_д). \quad (2.8)$$

З використанням критеріїв оцінювання ефективності енергоустановки визначаються оптимальні параметри управління технічним станом ЕУ, зокрема, роботою системи прискореного прогріву двигуна і нейтралізатора з тепловим акумулятором.

Ефективність управління енергоустановкою, трансмісією та системами забезпечення необхідного швидкісного режиму і напрямку руху на маршруті оцінюється за критеріями витрат енергії g_s та викидів шкідливих речовин g_{is} на довжину маршруту (МДж/км, г/км), на кількість виконаної транспортної роботи вантажним (МДж/ткм, г/ткм) або пасажирським КТЗ (МДж/пас.км, г/пас.км). Окремі критерії ефективності КТЗ використовуються для оцінювання ефективності управління КТЗ як в окремому режимі руху, так і в цілому на маршруті.

Поточна швидкість руху КТЗ, км/год:

$$V_a = dS/dt, \quad (2.9)$$

де dS – поточний розрахунковий проміжок шляху КТЗ, км;

dt – поточний розрахунковий проміжок часу, год.

Поточна питома витрата енергії на одиницю шляху КТЗ, МДж/км:

$$g_S = E_{вих} \cdot dt/dS. \quad (2.10)$$

Поточна питома витрата енергії на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ, МДж/ткм:

$$g_S^{В} = E_{вих} \cdot dt/(dS \cdot (M_a - M_0)), \quad (2.11)$$

де M_a – повна маса КТЗ, т;

M_0 –маса спорядженого КТЗ, т.

Поточна питома витрата енергії на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ, МДж/пас.км:

$$g_S^{П} = E_{вих} \cdot dt/(dS \cdot N_{пас}), \quad (2.12)$$

де $N_{пас}$ – кількість пасажирів, що перевозиться КТЗ, пас.

Поточні питомі викиди *i*-тої шкідливої речовини на одиницю шляху КТЗ, г/км:

$$g_{Si} = G_i \cdot dt/dS. \quad (2.13)$$

Поточні питомі викиди *i*-тої шкідливої речовини на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ, г/ткм:

$$g_{Si}^{В} = G_i \cdot dt/(dS \cdot (M_a - M_0)). \quad (2.14)$$

Поточні питомі викиди *i*-тої шкідливої речовини на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ, г/пас.км:

$$g_{Si}^{П} = G_i \cdot dt/(dS \cdot N_{пас}). \quad (2.15)$$

Середня швидкість руху КТЗ, км/год:

$$V_a^{ср} = S_{марш}/t, \quad (2.16)$$

де $S_{марш}$ – пройдена довжина маршруту, км;

t – затрачений час на маршрут, год.

Середня питома витрата енергії на одиницю шляху КТЗ, МДж/км:

$$g_S^{\,ср} = \int(E_{вих} \cdot dt)/S_{марш}. \quad (2.17)$$

Середня питома витрата енергії на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ, МДж/ткм:

$$g_S^{\,В\,ср} = \int(E_{вих} \cdot dt)/(S_{марш} \cdot (M_a - M_0)). \quad (2.18)$$

Середня питома витрата енергії на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ, МДж/пас.км:

$$g_S^{\,П\,ср} = \int(E_{вих} \cdot dt)/(S_{марш} \cdot N_{пас}). \quad (2.19)$$

Середні питомі викиди *i*-тої шкідливої речовини на одиницю шляху КТЗ, г/км:

$$g_{Si}^{\,ср} = \int(G_i \cdot dt)/S_{марш}. \quad (2.20)$$

Середні питомі викиди *i*-тої шкідливої речовини на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ, г/ткм:

$$g_{Si}^{\,В\,ср} = \int(G_i \cdot dt)/(S_{марш} \cdot (M_a - M_0)). \quad (2.21)$$

Середні питомі викиди *i*-тої шкідливої речовини на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ, г/пас.км:

$$g_{Si}^{\,П\,ср} = \int(G_i \cdot dt)/(S_{марш} \cdot N_{пас}). \quad (2.22)$$

При цьому, усі критерії, що характеризують витрати енергії відносяться до економічних. Критерії, що залежать від викидів шкідливих речовин є екологічними. Крім того, для інтегральної оцінки використовується динамічний критерій часу виконання маршруту.

Інтегральні критерії ефективності КТЗ використовуються для оцінювання ефективності КТЗ в окремому режимі руху та в цілому на маршруті.

Поточний інтегральні критерії ефективності на одиницю шляху КТЗ:

$$I_S = \alpha \cdot V_a / V_a^{max} + \beta \cdot g_S^{min} / g_S + \gamma \cdot K_E, \quad (2.23)$$

де α – коефіцієнт відносної значимості динамічного критерію оцінювання (0,1-0,4);

β – коефіцієнт відносної значимості економічного критерію оцінювання (0,1-0,4);

γ – коефіцієнт відносної значимості сумарного екологічного критерію оцінювання (0,1-0,4);

V_a^{max} – поточна максимальна допустима швидкість руху, км/год;

g_S^{min} – поточна мінімальна (бажана) питома витрата енергії на одиницю шляху КТЗ, МДж/км;

K_E – поточний сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю шляху КТЗ.

Для коефіцієнтів відносної значимості динамічного, економічного та сумарного екологічного критеріїв виконується умова $\Sigma(\alpha, \beta, \gamma) = 1$.

Поточний сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю шляху КТЗ:

$$K_E = \gamma_{CO} \cdot g_{SCO}^{min} / g_{SCO} + \gamma_{CH} \cdot g_{SCH}^{min} / g_{SCH} + \\ + \gamma_{NO} \cdot g_{SNO}^{min} / g_{SNO} + \gamma_{CO2} \cdot g_{SCO2}^{min} / g_{SCO2}, \quad (2.24)$$

де γ_{CO}, γ_{CH}, γ_{NO}, γ_{CO2} – коефіцієнти відносної значимості викидів відповідних шкідливих речовин CO, C_mH_n, NO_x, CO_2. При цьому виконується умова $\Sigma(\gamma_{CO}, \gamma_{CH}, \gamma_{NO}, \gamma_{CO2}) = 1$;

$g_{SCO}^{\min}$, $g_{SCH}^{\min}$, $g_{SNO}^{\min}$, $g_{SCO2}^{\min}$ – поточні мінімальні (бажані) питомі викиди відповідних шкідливих речовин на одиницю шляху КТЗ, г/км.

Поточний інтегральні критерії ефективності на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ:

$$I_S^B = \alpha \cdot V_a / V_a^{max} + \beta \cdot g_S^{B\,min} / g_S^B + \gamma \cdot K_E^B, \quad (2.25)$$

де $g_S^{B\,min}$ – поточна мінімальна (бажана) питома витрата енергії на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ, МДж/ткм;

K_E^B – поточний сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ.

Поточний сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ:

$$K_E^B = \gamma_{CO} \cdot g_{SCO}^{minB} / g_{SCO}^B + \gamma_{CH} \cdot g_{SCH}^{minB} / g_{SCH}^B + \gamma_{NO} \cdot g_{SNO}^{minB} / g_{SNO}^B + \\ + \gamma_{CO2} \cdot g_{SCO2}^{minB} / g_{SCO2}^B, \quad (2.26)$$

де g_{SCO}^{minB}, g_{SCH}^{minB}, g_{SNO}^{minB}, g_{SCO2}^{minB} – поточні мінімальні (бажані) питомі викиди відповідних шкідливих речовин на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ, г/ткм.

Поточний інтегральні критерії ефективності на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ:

$$I_S^П = \alpha \cdot V_a / V_a^{max} + \beta \cdot g_S^{П\,min} / g_S^П + \gamma \cdot K_E^П, \quad (2.27)$$

де $g_S^{Пmin}$ – поточна мінімальна (бажана) питома витрата енергії на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ, МДж/пас.км;

$K_E^{\ П}$ – поточний сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ.

Поточний сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ:

$$K_E^{\ П} = \gamma_{CO} \cdot g_{SCO}^{\ min\ П} / g_{SCO}^{\ П} + \gamma_{CH} \cdot g_{SCH}^{\ min\ П} / g_{SCH}^{\ П} + \gamma_{NO} \cdot g_{SNO}^{\ min\ П} / g_{SNO}^{\ П} + \\ + \gamma_{CO2} \cdot g_{SCO2}^{\ min\ П} / g_{SCO2}^{\ П}, \quad (2.28)$$

де $g_{SCO}^{\ min\ П}$, $g_{SCH}^{\ min\ П}$, $g_{SNO}^{\ min\ П}$, $g_{SCO2}^{\ min\ П}$ – поточні мінімальні (бажані) питомі викиди відповідних шкідливих речовин на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ, г/пас.км.

Середній інтегральний критерій ефективності на одиницю шляху КТЗ:

$$I_S^{\ ср} = \alpha \cdot V_a^{\ ср} / V_a^{\ max\ ср} + \beta \cdot g_S^{\ min\ ср} / g_S^{\ ср} + \gamma \cdot K_E^{ср}, \quad (2.29)$$

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

$g_S^{\ min\ ср}$ – середня мінімальна (бажана) питома витрата енергії на одиницю шляху КТЗ, МДж/км;

$K_E^{\ ср}$ – середній сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю шляху КТЗ.

Середній сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю шляху КТЗ:

$$K_E^{ср} = \gamma_{CO} \cdot g_{SCO}^{\ min\ ср} / g_{SCO}^{ср} + \gamma_{CH} \cdot g_{SCH}^{\ min\ ср} / g_{SCH}^{ср} + \gamma_{NO} \cdot g_{SNO}^{\ min\ ср} / g_{SNO}^{ср} + \\ + \gamma_{CO2} \cdot g_{SCO2}^{\ min\ ср} / g_{SCO2}^{ср}, \quad (2.30)$$

де $g_{SCO}^{\ min\ ср}$, $g_{SCH}^{\ min\ ср}$, $g_{SNO}^{\ min\ ср}$, $g_{SCO2}^{\ min\ ср}$ – середні мінімальні (бажані) питомі викиди відповідних шкідливих речовин на одиницю шляху КТЗ, г/км.

Середній інтегральні критерії ефективності на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ:

$$I_S^{B\ ср} = \alpha \cdot V_a^{\ ср} / V_a^{\ max\ ср} + \beta \cdot g_S^{\ B\ min\ ср} / g_S^{\ B\ ср} + \gamma \cdot K_E^{ср\ B}, \quad (2.31)$$

де $g_S^{\text{В min ср}}$ – середня мінімальна (бажана) питома витрата енергії на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ, МДж/ткм;

$K_E^{\text{ср В}}$ – середній сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ.

Середній сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ:

$$K_E^{\text{ср В}} = \gamma_{CO} \cdot g_{SCO}^{\text{min ср В}} / g_{SCO}^{\text{ср В}} + \gamma_{CH} \cdot g_{SCH}^{\text{min ср В}} / g_{SCH}^{\text{ср В}} + \gamma_{NO} \cdot g_{SNO}^{\text{min ср В}} / g_{SNO}^{\text{ср В}} + \gamma_{CO2} \cdot g_{SCO2}^{\text{min ср В}} / g_{SCO2}^{\text{ср В}}, \quad (2.32)$$

де $g_{SCO}^{\text{min ср В}}$, $g_{SCH}^{\text{min ср В}}$, $g_{SNO}^{\text{min ср В}}$, $g_{SCO2}^{\text{min ср В}}$ – середні мінімальні (бажані) питомі викиди відповідних шкідливих речовин на одиницю транспортної роботи вантажного КТЗ, г/ткм.

Середній інтегральні критерії ефективності на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ:

$$I_S^{\text{П ср}} = \alpha \cdot V_a^{\text{ср}} / V_a^{\text{max ср}} + \beta \cdot g_S^{\text{П min ср}} / g_S^{\text{П ср}} + \gamma \cdot K_E^{\text{ср П}}, \quad (2.33)$$

де $g_S^{\text{П min ср}}$ – середня мінімальна (бажана) питома витрата енергії на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ, МДж/пас.км;

$K_E^{\text{срП}}$ – середній сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ.

Середній сумарний екологічний критерій ефективності на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ:

$$K_E^{\text{ср П}} = \gamma_{CO} \cdot g_{SCO}^{\text{min ср П}} / g_{SCO}^{\text{ср П}} + \gamma_{CH} \cdot g_{SCH}^{\text{min ср П}} / g_{SCH}^{\text{ср П}} + \gamma_{NO} \cdot g_{SNO}^{\text{min ср П}} / g_{SNO}^{\text{ср П}} + \gamma_{CO2} \cdot g_{SCO2}^{\text{min ср П}} / g_{SCO2}^{\text{ср П}}, \quad (2.34)$$

де $g_{SCO}^{\text{min ср П}}$, $g_{SCH}^{\text{min ср П}}$, $g_{SNO}^{\text{min ср П}}$, $g_{SCO2}^{\text{min ср П}}$ – середні мінімальні (бажані) питомі викиди відповідних шкідливих речовин на одиницю транспортної роботи пасажирського КТЗ, г/пас.км.

З використанням вказаних критеріїв формуються цільові функції, що закладені в програму роботи виконавчих пристроїв управління енергоустановкою, трансмісією та системами забезпечення необхідного швидкісного режиму і напрямку руху та реалізуються під час виконання алгоритму управління експлуатаційною ефективністю ТЗ за динамічними, економічними та екологічними критеріями.

2.4 Формування алгоритму управління експлуатаційною ефективністю КТЗ за динамічними, економічними та екологічними критеріями

Відповідно до функціональної схеми системи «КТЗ – Інфраструктура» (рис. 2.2) та сформованих критеріїв ефективності експлуатації (п.2.3) визначимо алгоритм управління експлуатаційною ефективністю КТЗ. Даний алгоритм закладено в основу функціонування виконавчих пристроїв управління енергоустановкою, трансмісією та системами забезпечення необхідного швидкісного режиму і напрямку під час роботи КТЗ на відповідному маршруті.

У відповідності до основної функції КТЗ під час його експлуатації необхідно забезпечити максимально швидке переміщення визначеного вантажу або пасажирів за відповідним маршрутом, витративши мінімальну кількість енергетичного ресурсу та викинувши мінімальну кількість шкідливих речовин. Таке переміщення можна представити як певне значення швидкості руху, яка задовольняє вказаним економічному та екологічному критеріям.

При цьому процес управління КТЗ доцільно розбити на кілька стадій, що вимагають різних підходів до управління. До таких стадій можна віднести: пуск двигуна і його робота в режимі холостого ходу, рушання з місця, розгін до заданої швидкості, рух з постійною швидкістю відповідно до умов експлуатації з підтриманням її значення за допомогою періодичних прискорень і гальмувань.

Сформований алгоритм управління експлуатаційною ефективністю КТЗ за динамічними, економічними та екологічними критеріями представлено на рис. 2.8. Для роботи системи управління необхідні первинні вхідні дані. Це масив наступних

параметрів: атмосферний тиск p_0, температура навколишнього середовища T_0, початкові температури охолоджуючої рідини двигуна $t_{e\ p}$ та каталітичного нейтралізатора $t_{k\ p}$, робочі температури охолоджуючої рідини двигуна $t_{e\ f}$ та каталітичного нейтралізатора $t_{k\ f}$, повна маса КТЗ M_A, маса спорядженого КТЗ M_0, масив сталих параметрів КТЗ A_i (передаточне число головної передачі, коефіцієнт аеродинамічного опору, площа фронтального перерізу КТЗ, динамічний радіус колеса, к.к.д. трансмісії), початковий момент часу t = 0, мінімальний час роботи двигуна в режимі холостого ходу після пуску t_{min}, заданий маршрут руху (їздовий цикл) $S_{марш}$ (заданий як масив географічних координат).

Частина даних введена в систему управління на постійній основі (статичні характеристики КТЗ), частина даних отримується від бортових датчиків КТЗ, параметри маршруту вводить оператор шляхом встановлення пункту призначення і вибору конкретних автомобільних доріг через підключений до системи GPS-навігатор.

Після введення даних здійснюється пуск двигуна, його робота в режимі холостого ходу. Усі базові параметри управління двигуном забезпечує штатна система управління. Система управління експлуатаційною ефективністю за допомогою адаптера здійснює підключення до системи OBD КТЗ та здійснює зчитування даних. Цей набір даних містить наступні параметри: частота обертання вала двигуна $n_д$, параметри, що характеризують ступінь навантаження двигуна $E_{нав}$, параметр кількості спожитої енергії двигуном $E_{вих}$, температура охолоджуючої рідини t_e, температура каталітичного нейтралізатора t_k, швидкість КТЗ V_a.

На основі зчитаних параметрів OBD система здійснює визначення показників ефективності ЕУ: ефективного або індикаторного крутного моменту $M_e(M_i) = f(n_д, E_{нав}, E_{вих}, t_e)$, Нм, питомої ефективної або індикаторної витрати енергії $g_e(g_i)$, МДж/(кВт год), питомих індикаторних або ефективних викидів шкідливих речовин g_i, г/(кВт год).

Здійснюється визначення показників руху та ефективності КТЗ: часу руху $t = t_0 + dt$ ($dt=120/n_д$), пройденого шляху $S = \int V_a dt$, питомої пробігової витрати енергії g_s, МДж/км, питомих пробігових викидів g_i, г/км.

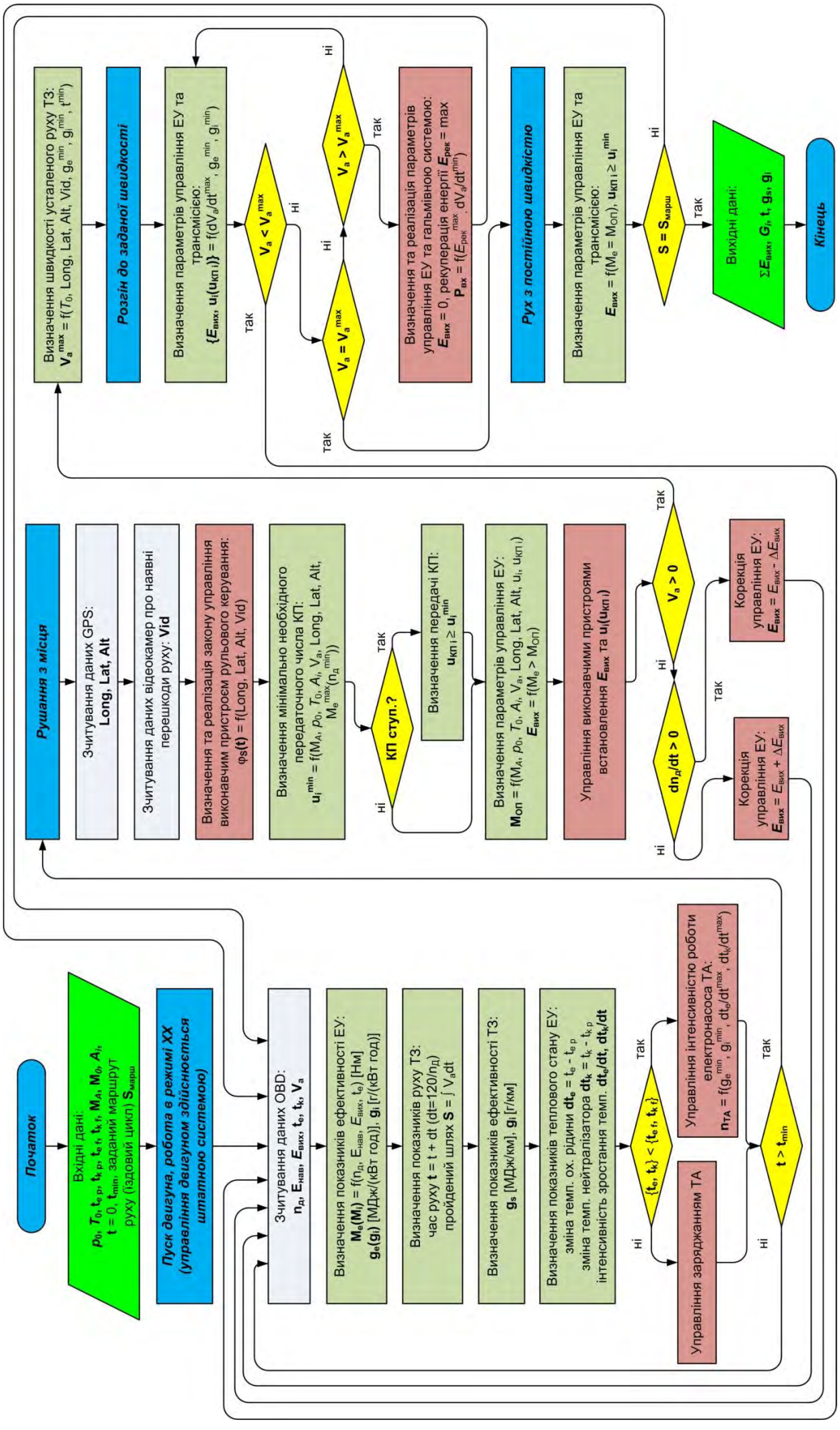


Рисунок 2.8 – Алгоритм управління експлуатаційною ефективністю КТЗ

Для забезпечення оптимального технічного стану ЕУ здійснюється визначення показників теплового стану: зміни температури охолоджуючої рідини $dt_e = t_e - t_{e\,p}$, зміни температури нейтралізатора $dt_k = t_k - t_{k\,p}$, інтенсивності зростання температур охолоджуючої рідини dt_e/dt та нейтралізатора dt_k/dt. Для визначення параметрів управління тепловим станом перевіряється умова досягнення значень робочих температур двигуна та каталітичного нейтралізатора $\{t_e, t_k\} > \{t_{e\,f}, t_{k\,f}\}$. Якщо умова не виконується, то здійснюється управління інтенсивністю роботи електронасоса теплового акумулятора, зокрема, визначається і реалізується необхідна частота обертання крильчатки насоса: $n_{TA} = f(g_e^{min}, g_i^{min}, dt_e/dt^{max}, dt_k/dt^{max})$. У разі виконання умови дається дозвіл на здійснення процесів заряджання теплових акумуляторів систем охолодження і випуску ВГ.

Для переходу до наступного режиму руху КТЗ здійснюється перевірка умови досягнення значення мінімального часу роботи двигуна в режимі холостого ходу після пуску $t > t_{min}$. У разі невиконання цієї умови система продовжує працювати в режимі холостого ходу, повертаючись на крок зчитування даних OBD. Якщо умова виконується, відбувається перехід до наступної стадії рушання з місця. При цьому, процеси теплової підготовки двигуна і каталітичного нейтралізатора продовжують відбуватися у паралельному потоці.

Для забезпечення рушання з місця система управління попередньо збирає наступну інформацію: дані GPS про географічні координати довготи *Long*, широти *Lat*, висоти над рівнем моря *Alt* та дані відеокамер про наявні перешкоди руху *Vid*. На основі цих даних здійснюється визначення та реалізація закону управління виконавчим пристроєм кермового керування: $\varphi_S(t) = f(Long, Lat, Alt, Vid)$. В той же час, система управління визначає мінімально необхідне передаточне числа коробки передач: $u_i^{min} = f(M_A, p_0, T_0, A_i, V_a, Long, Lat, Alt, M_e^{max}(n_д^{min}))$, для забезпечення рушання з місця. Якщо КТЗ обладнаний ступінчастою коробкою передач, то додатково здійснюється визначення номеру і передачі за умовою $u_{КП\ i} \geq u_i^{min}$. На основі визначеного передаточного числа коробки передач відбувається визначення параметрів управління ЕУ: моменту опору руху на валу двигуна $M_{ОП} = f(M_A, p_0, T_0,$

A_i, V_a, Long, Lat, Alt, u_i, $u_{КП\ i}$) та необхідної енергії двигуна для подолання моменту опору $E_{вих} = f(M_e > M_{ОП})$.

На основі визначених параметрів управління ЕУ та трансмісією здійснюється безпосереднє управління виконавчими пристроями встановлення $E_{вих}$ та $u_i(u_{КП\ i})$. Умовою рушання КТЗ є збільшення його швидкості $V_a > 0$. Якщо цього не відбувається, це свідчить про недостатність поданої енергії у двигун або про навпаки про її надмірність, що призводить до пробуксовування ведучих коліс на місці. З метою визначення цього, система управління оцінює напрямок зміни частоти обертання валу двигуна: $dn_д/dt > 0$. Якщо зміна частоти обертання позитивна, то це означає пробуксовування і відбувається корекція управління ЕУ $E_{вих} = E_{вих} - \Delta E_{вих}$. Якщо зміна негативна, то відбувається протилежна корекція управління ЕУ $E_{вих} = E_{вих} + \Delta E_{вих}$. Після цього алгоритм повертається на крок зчитування даних OBD для актуалізації параметрів.

Після вдалого рушання відбувається перехід до наступної стадії розгону до заданої швидкості. Перед цим відбувається визначення цієї заданої швидкості усталеного руху КТЗ на основі зібраної інформації GPS, відеокамер про перешкоди, визначених параметрів ефективності руху: $V_a^{max} = f(T_0, Long, Lat, Alt, Vid, g_e^{min}, g_i^{min}, t^{min})$. Швидкість має бути максимальною у даних транспортних та дорожніх умовах при забезпеченні економічного та екологічного критеріїв ефективності експлуатації КТЗ. Розгін КТЗ до заданої швидкості відбувається за умови забезпечення його максимальної інтенсивності та мінімальних енерговитрат і викидів шкідливих речовин. Відповідно до цього здійснюється визначення параметрів управління ЕУ та трансмісією $\{E_{вих}, u_i(u_{КП\ i})\} = f(dV_a/dt^{max}, g_e^{min}, g_i^{min})$. Реалізація визначених параметрів управління здійснюється після повернення на крок зчитування даних OBD і переходу на відповідний крок управління ЕУ та трансмісією.

При цьому, відповідно до часового циклу системи управління dt постійно здійснюється актуалізація даних OBD, GPS, Vid. Внаслідок зміни умов руху доцільне значення швидкості усталеного руху також може бути змінено у бік збільшення або зменшення по відношенню до попереднього. Тому, система управління в кожній ітерації часового циклу здійснює перевірку відповідності

поточної швидкості руху заданій. За необхідності може здійснюватись додатковий розгін або гальмування. В останньому випадку здійснюється визначення та реалізація параметрів управління ЕУ та гальмівною системою: енергія, що подається в двигун, виключається $E_{вих} = 0$, рекуперація енергії (переведення тягового електродвигуна в режим генератора) здійснюється з максимальною інтенсивністю $E_{рек} = max$, зусилля на виконавчому пристрої гальмівної системи визначається за умови $P_{вх} = f(E_{рек}^{max}, dV_a/dt^{min})$.

Після того, як в будь-якій ітерації часового циклу управління буде досягнуте значення швидкості усталеного руху, алгоритм переходить на стадію руху з постійною швидкістю. В цьому режимі параметри управління ЕУ та трансмісією визначаються з умови: $E_{вих} = f(M_e = M_{ОП})$, $u_{КП\,i} \geq u_i^{min}$.

При наближенні до пункту призначення система управління враховує швидкість усталеного руху V_a поступово зводячи її до нуля в момент прибуття у пункт призначення ($S = S_{марш}$).

Після виконання маршруту система управління визначає вихідні дані: сумарну витрачену енергію двигуном $\Delta E_{вих}$, сумарні викиди шкідливих речовин G_i, сумарний час виконання маршруту t, середню пробігову витрату енергії g_s, середні пробігові викиди шкідливих речовин g_i.

Реалізація представленого алгоритму управління експлуатаційною ефективністю КТЗ за динамічними, економічними та екологічними критеріями вимагає використання інформаційної і математичної моделей, які дозволять здійснювати визначення параметрів управління КТЗ.

Висновки до розділу 2

1. Відповідно до загальних положень системного аналізу сформовано системний підхід до управління експлуатаційною ефективністю КТЗ, який передбачає реалізацію трьох основних етапів, зокрема: постановку задачі управління експлуатаційною ефективністю КТЗ, моделювання показників експлуатаційної ефективності КТЗ, оцінювання ефективності алгоритму управління

експлуатаційною ефективністю КТЗ в різних інфраструктурних умовах, що дозволяє оцінити ефективність застосування того чи іншого алгоритму управління КТЗ за динамічним, економічним та екологічним критеріями.

2. Узагальнено структуру системи «КТЗ-Інфраструктура» та представлено її у вигляді функціональної схеми, яка об'єднує основні процеси системи в ЕУ, трансмісії, ходовій частині та взаємодію з інфраструктурним середовищем, вхідні величини та вихідні показники цих процесів, зворотні зв'язки, що забезпечують управління параметрами процесів для досягнення бажаних показників ефективності системи.

3. На основі функціональної схеми системи запропоновано метод систематизації телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура», який дозволяє аналізувати існуючі та формувати нові морфологічні структури системи, які розглядаються як способи підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ з удосконаленим телематичним забезпеченням основних функціональних елементів.

4. Запропоновано метод визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура» 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 – Інфраструктура» для дослідження, які поєднують варіанти різного рівня розвитку 16 морфологічних ознак функціональних елементів «КТЗ» та «Інфраструктура».

5. З метою визначення ефективності експлуатації КТЗ в інфраструктурному середовищі при реалізації тої чи іншої морфологічної структури телематичного забезпечення сформовано комплекс критеріїв оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ за динамічною, економічною та екологічною ефективністю.

6. Для забезпечення реалізації процесу управління експлуатаційною ефективністю КТЗ в умовах різних морфологічних структур телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктурного середовища у відповідності до функціональної схеми системи сформовано алгоритм управління експлуатаційною ефективністю КТЗ.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КТЗ

3.1 Призначення, інформаційні складові та архітектура телематичного забезпечення системи «КТЗ - Інфраструктура»

Інформаційна телематична система «КТЗ – Інфраструктура» – система супутникового моніторингу і управління КТЗ, яка представляє собою спеціалізований програмно-апаратний комплекс для дистанційного управління параметрами технічного стану енергоустановки 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 [33]. В основі створення системи «КТЗ – Інфраструктура» покладена ідея об'єднання в комплекс, по-перше, всіх необхідних завдань, які сьогодні можуть висуватися до подібних транспортних систем, як щодо їх інфраструктури, так і самих КТЗ (враховуючи особливості конструкції, оснащення, ЕУ тощо), по-друге, об'єднання дій, спрямованих на рішення вказаних завдань (рис. 3.1).

Система «КТЗ – Інфраструктура» призначена для вирішення наукових і виробничих завдань автомобільного транспорту в частині удосконалення роботи КТЗ і забезпечує моніторинг та управління параметрами їх технічного стану і режимами руху за рахунок використання сучасних інтелектуальних телематичних технологій. Застосування і впровадження системи – це якісно новий рівень управління ефективністю КТЗ в умовах експлуатації.

Перевагами системи «КТЗ – Інфраструктура» є [33-35, 50, 65, 70-74, 209-219, 223, 224-245, 249-251, 253, 254]:

- безперервний дистанційний автоматичний контроль руху КТЗ з управлінням ефективністю, оцінкою умов експлуатації, часу проходження маршрутів у відповідності до графіків роботи, відображенням розташування КТЗ і маршрутів руху в режимі реального часу на електронних картах;

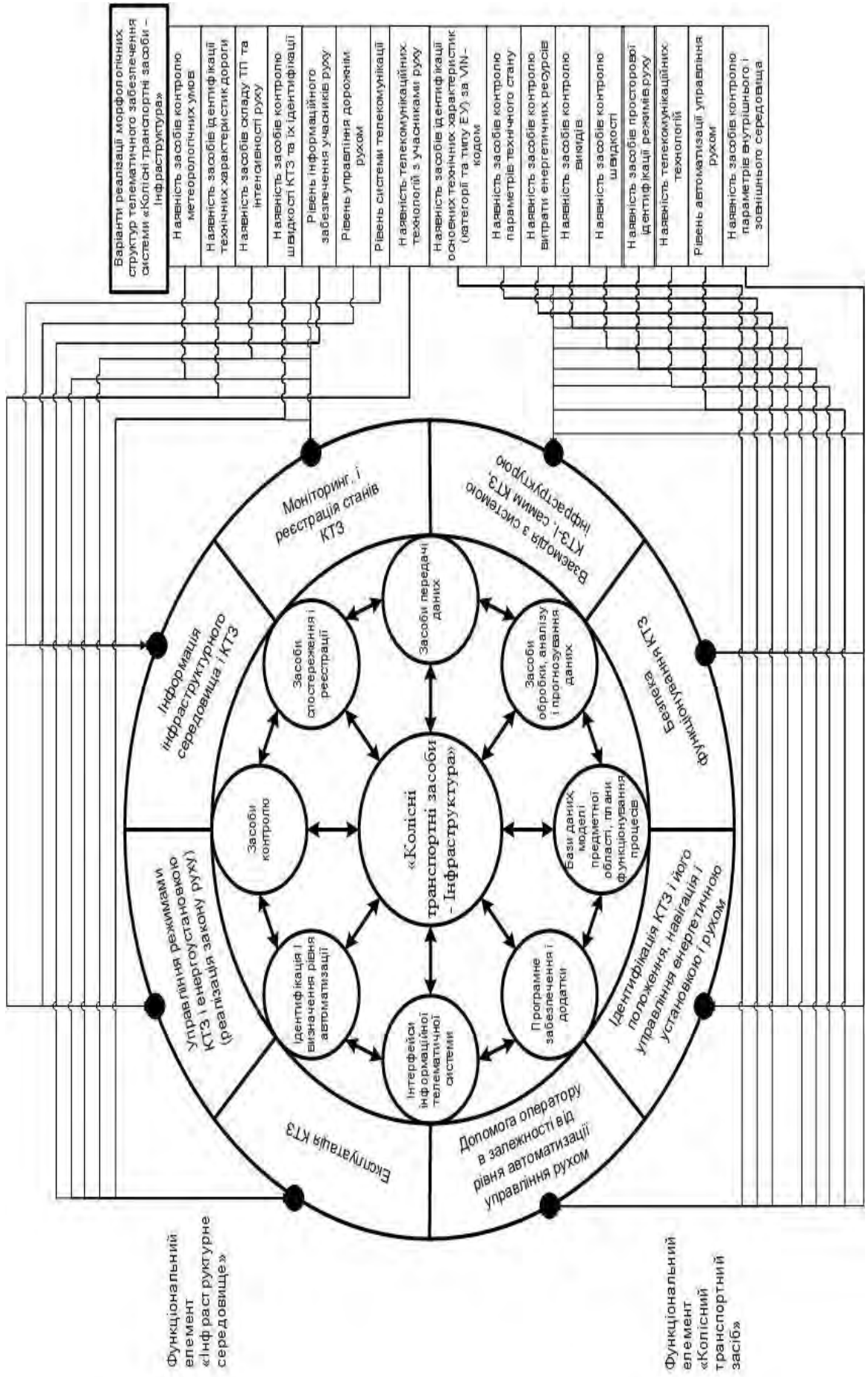


Рисунок 3.1 – Основні інформаційні складові телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура»

- безперервний дистанційний автоматичний контроль параметрів технічного стану КТЗ з оцінкою рівня надійності й ефективності реалізації заданого закону руху та технічної експлуатації;

- висока оперативність, низька вартість навігаційно-зв'язкового обладнання і технічних засобів, мінімальні витрати на експлуатацію системи і повна конфіденційність результатів управління та обробки параметрів, даних і відомостей, одержуваних в системі «КТЗ – Інфраструктура»;

- можливість інтеграції з іншими інформаційними й інформаційно-аналітичними системами транспорту та підключення додаткових спеціальних модулів ПЗ для вирішення супутніх завдань тощо.

Систему «КТЗ – Інфраструктура» слід розглядати як сучасну інформаційно-пошукову систему з власними складовими. Проф. І.П. Чорний запропонував представляти такі системи у вигляді чотирьох основних складових [33, 34, 78]:

- логіко-семантичний апарат, тобто, мова програмування, правила індексування і критерії видачі результатів тощо;

- база даних, тобто, певна множина забезпечених пошуковими образами документів, в яких знаходяться необхідні параметри;

- технічні засоби, необхідні для запису та зберігання пошукових образів і документів, співставлення пошукових образів з пошуковим запитом;

- користувачі системи, які здійснюють керування її елементами, індексування документів й інформаційних запитів, вибирають стратегію пошуку, інші операції.

Наявність в системі логіко-семантичного апарату і бази даних, вказує на те, що така система відноситься до логістичних систем [33, 79]. Призначення логістичних систем – формування інтегрованого потоку інформації для автомобільного транспорту і його інфраструктури [33, 79 - 84].

Система «КТЗ – Інфраструктура» – це інформаційний апаратно-програмний комплекс на основі телематичної платформи дистанційного моніторингу засобами ІТС у реалізації різних морфологічних структур системи, який побудований на технології «клієнт-сервер» із застосуванням Web-технологій. Складовими телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура» є [33-35, 50, 65, 70-

74]: телематичний сервер, загальне і спеціальне ПЗ телематичного сервера і бортового обладнання, ГІС телематичного сервера, базове спеціалізоване ПЗ робочого місця диспетчера (оператора) тощо.

Для оцінювання ефективності функціонування системи «КТЗ – Інфраструктура» з урахуванням перспективних змін варіантів морфологічних ознак її функціональних елементів розроблена нова методологія, яка буде спроможна оцінювати можливі морфологічні структури телематичного забезпечення системи та її елементів, формувати раціональні структури системи й управляти окремими характеристиками функціональних елементів для досягнення максимальної продуктивності КТЗ при мінімальних питомих витратах енергії та викидах в заданих умовах інфраструктурного середовища.

Основні функції системи «КТЗ – Інфраструктура» можна умовно розділити на наступні групи: функції моніторингу (безперервне отримання інформації, як від КТЗ, так і від інфраструктури), функції управління параметрами технічного стану і законом руху КТЗ та функції зберігання інформації і взаємодії з зовнішніми інформаційними системами.

Вирішенню задач, пов’язаних з функціями моніторингу системи «КТЗ – Інфраструктура», в повній мірі відповідають вже відомі системи моніторингу, розроблені в ХНАДУ, НТУ і ХДМА [33-35, 50, 65, 70-74]. Серед додаткових задач є наступні:

- автоматичне дистанційне визначення навігаційних, паливно-економічних та екологічних параметрів КТЗ (основні географічні координати, положення, висота над рівнем моря, поточна швидкість КТЗ, витрата енергії та викиди забруднюючих речовин, тощо);

- автоматичне визначення і проведення безперервного моніторингу параметрів технічного стану КТЗ за показами контрольних пристроїв телематичних навігаторів-приймачів, проведення ідентифікації технічних характеристик КТЗ та його підсистем;

- визначення технічного стану КТЗ, просторова ідентифікація режимів руху КТЗ, стан зв'язку з іншими елементами системи, автоматизація управління рухом КТЗ, контроль характеристик оператора та параметрів внутрішнього і зовнішнього середовища КТЗ;

- ідентифікація зовнішніх метеорологічних умов, характеристик дороги, складу транспортного потоку та його інтенсивності, організація дорожнього руху;

- оцінка рівня інформаційного забезпечення учасників руху, системи телекомунікації, а також наявність телекомунікаційних технологій з учасниками руху тощо.

Функції управління системи «КТЗ – Інфраструктура», крім відомих вже функцій [36, 70, 75-77], передбачають вирішення додаткових задач, серед яких є наступні:

- підвищення ефективності функціонування системи шляхом поєднання окремих варіантів усіх морфологічних ознак функціональних елементів, що забезпечує формування новітньої морфологічної структури телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура»;

- отримання нових структур телематичного забезпечення системи зміною одного з варіантів реалізації будь-якої морфологічної ознаки, чим досягається нова морфологічна структура системи «КТЗ – Інфраструктура»;

- формування електронних карт місцевості з відповідними геозонами для коректування переміщення КТЗ;

- контроль й аналіз технічних та технологічних параметрів стану КТЗ за певні проміжки часу тощо.

Функції системи «КТЗ – Інфраструктура» щодо зберігання інформації та інтеграції з зовнішніми інформаційними системами [36,70] передбачають:

- зберігання інформації в єдиній базі даних;

- перетворення інформації в формат користувацьких інформаційних систем;

- обмін даними з користувацькими інформаційними системами;

- створення баз даних в форматі користувацьких архівів.

Фізична архітектура телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура» (рис. 3.2) включає в себе програмне забезпечення, апаратних засобів інформаційних і телекомунікаційних технологій, периферійне обладнання. Фізична архітектура визначає основні вимоги до функціонування, взаємодії та розміщення елементів системи «КТЗ – Інфраструктура».

Верхній рівень системи «КТЗ – Інфраструктура» – це інтегруюча платформа. На даному рівні здійснюється накопичення вхідних, аналітичних та статистичних даних, виконується їх обробка з метою прийняття ефективних рішень для управління підсистемами, підтримується оперативна і ситуаційна взаємодія із зовнішніми інформаційними системами. Інтеграційна платформа системи «КТЗ – Інфраструктура» є базовою основою для об'єднання системи з іншими елементами ІТС.

Центральний рівень системи «КТЗ – Інфраструктура» – це комплексні інструментальні підсистеми. До складу фізичної архітектури рівня 1 (рівень КТЗ) входять наступні підсистеми КТЗ:

1. Системи штатних датчиків КТЗ;
2. Системи додаткових датчиків КТЗ;
3. Мережі й обладнання КТЗ (штатні і додаткові);
4. Системи керування технічним станом і режимами руху КТЗ.

До складу фізичної архітектури рівня 2 (рівень інфраструктури) входять кілька комплексних підсистем, інструментальних підсистем і технічних засобів інфраструктури (рис. 3.2).

Система керування утриманням доріг (рис. 3.2) забезпечує: контроль метеоумов на автомобільних дорогах; визначення стану дорожнього покриття; контроль стану інженерних споруд; передачу інформації учасникам дорожнього руху, підрозділам і підрядним організаціям; контроль виконання роботи дорожньої технікою і віддалену діагностику її обладнання; створення і ведення бази даних тощо.

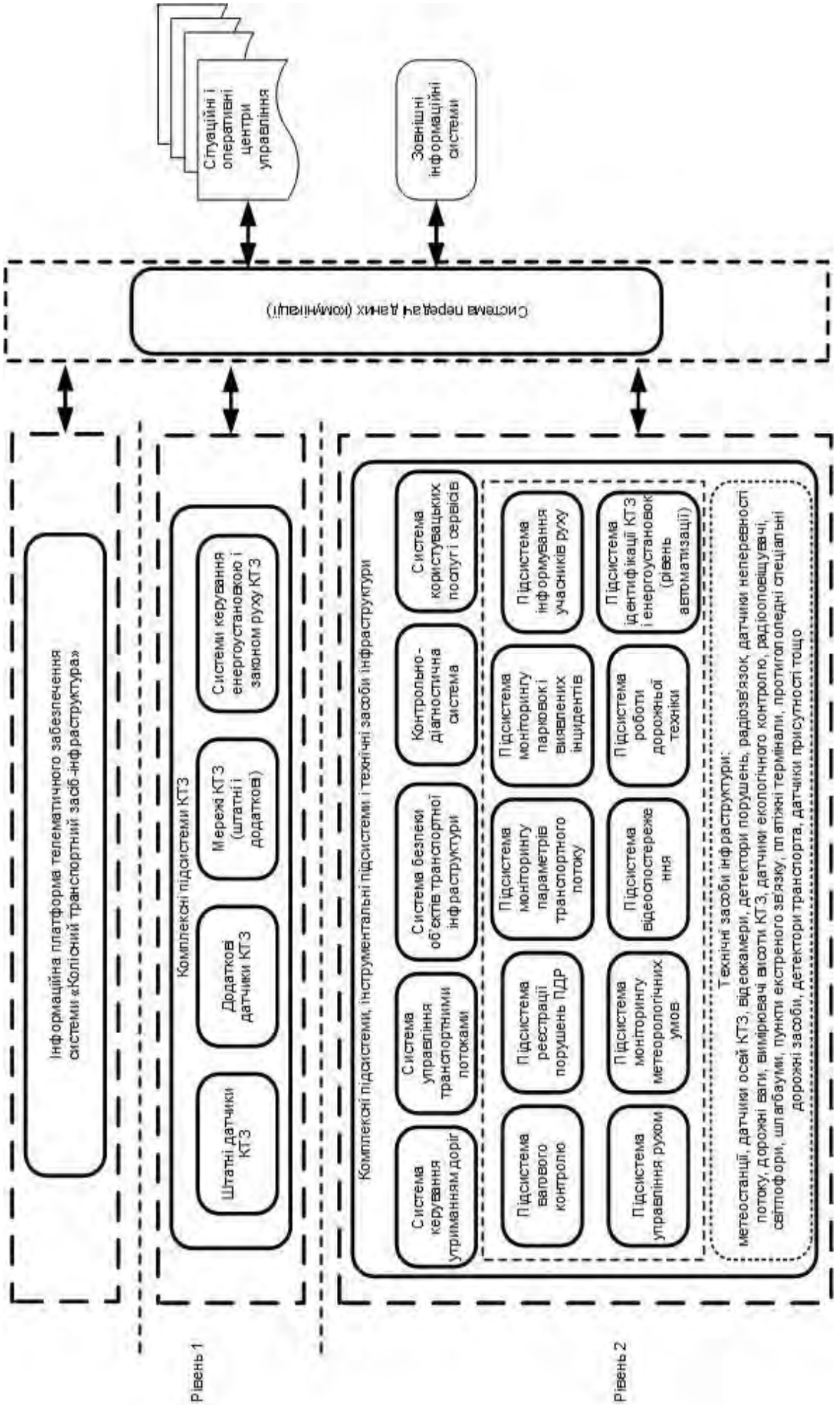


Рисунок 3.2 – Фізична архітектура телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура»

Система керування транспортними потоками забезпечує: автоматичний або автоматизований вибір сценаріїв управління рухом КТЗ в залежності від дорожньо-транспортної ситуації на основі даних від підсистеми моніторингу параметрів транспортних потоків; автоматизовану розробку та формування бази даних сценаріїв управління рухом КТЗ; збір інформації про характеристики транспортних потоків; підтримку в актуальному стані схеми організації дорожнього руху та технічних засобів організації дорожнього руху, а також параметрів і характеристик їх функціонування; передачу інформації в інформаційну платформу системи «КТЗ – Інфраструктура» тощо.

Система безпеки об’єктів транспортної інфраструктури контролює працездатність і безпечність використання об’єктів транспортної інфраструктури. Контрольно-діагностична система забезпечує дистанційну діагностику обладнання.

Система користувацьких послуг і сервісів забезпечує: інформаційне та навігаційне забезпечення користувачів системи; функціонування центру обслуговування телефонних дзвінків і передачу інформації в Інтернет-сайти і засоби масової інформації; формування інформації про дорожньо-транспортну ситуацію (інтерактивні карти, таблиці, графіки, статистична інформація); внесення плати за проїзд платною дорогою; керування транспортними потоками на майданчиках пунктів справляння плати; автоматичну класифікацію КТЗ та вибір тарифу на основі виробленої класифікації; забезпечення проїзду негабаритного транспорту, спецтранспорту; автоматизований контроль роботи операторів смуг; процедури збору, обліку, зберігання й інкасування грошових коштів; процедури реєстрації випадків порушень оплати; тощо [36-39, 70, 75-77, 85, 86].

Комплексні підсистеми ІТС складаються також з ряду інструментальних підсистем і технічних засобів інфраструктури, призначення і функціонал яких виходить з їх назв та особливостей (рис. 3.2).

3.2 Методика побудови інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

Для оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в системі «КТЗ – Інфраструктура» на основі дистанційного моніторингу необхідно поетапно вирішувати основні завдання. На першому етапі потрібно вирішити задачу створення інформаційної моделі дистанційного моніторингу засобами ІТС, передбачивши в ній можливість реалізації телематичної інтелектуальної складової. На другому етапі потребує розвитку інтелектуальне спрямування телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура» та її навчання.

Реалізація першого етапу і створення основи побудови всієї системи передбачає дослідження процесів експлуатації КТЗ та управління ними. Крім того, потрібне вдосконалення методів та засобів інформатизації процесів експлуатації і керування КТЗ. Для реалізації цього доцільно використовувати інформацію про окремі КТЗ шляхом моніторингу параметрів їх технічного стану. Це забезпечується системою передачі даних – поєднанням сучасних інформаційних технологій та навігаційних супутникових технологій [33-39, 50, 65, 70-77, 85, 86]. Сьогодні, для реалізації системи «КТЗ – Інфраструктура», у вигляді автоматичного контролю та керування КТЗ, бортові і стаціонарні компоненти ІТС на КТЗ та в інфраструктурі, передбачають поєднання традиційних та опційних об'єктів сучасної автомобільної електроніки.

Для забезпечення процесу дистанційного моніторингу експлуатаційної ефективності КТЗ в системі «КТЗ – Інфраструктура» була розроблена загальна методика (рис. 3.3), яка формує інформаційну модель КТЗ з урахованням принципів системної взаємодії КТЗ з інфраструктурним середовищем [33-39, 50, 65, 70-77, 85-87].

При створенні інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура», у порівнянні з вже відомими, представленими у роботах [33-39, 50, 65, 70-77, 85-87], загальна методика передбачає внесення змін у всі її основні етапи (рис. 3.3).

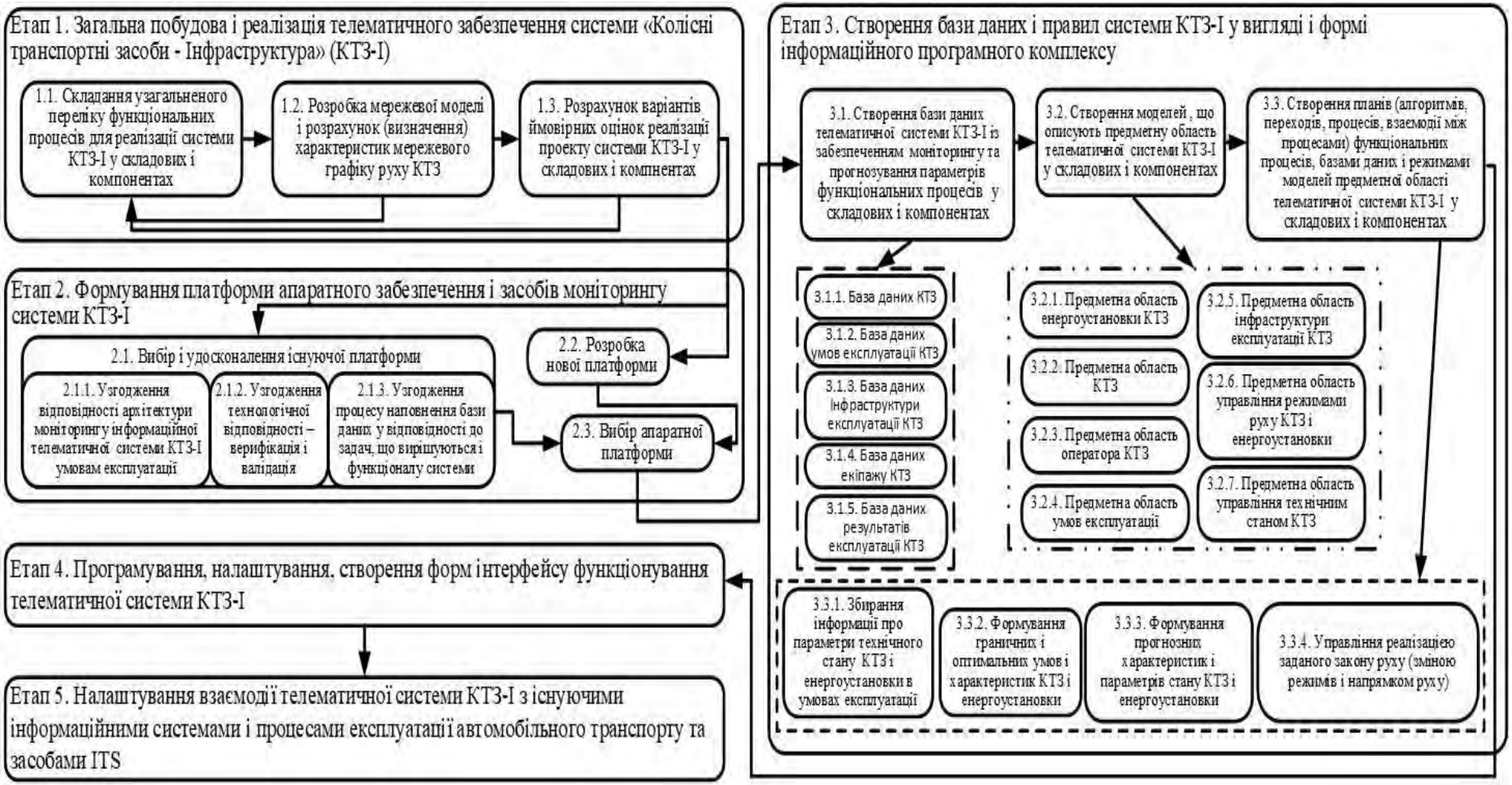


Рисунок 3.3 – Загальна методика побудови інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура» z

Для забезпечення взаємодії складових і створення бази даних та алгоритмів інформаційного програмного комплексу був розвинений етап 3. Це, зокрема, стосується створення моделей, що описують бази даних, предметну область КТЗ і створення алгоритмів переходів та процесів за складовими множинами, (рис. 3.3). Отже, розроблена методика передбачає постійний контроль технічного стану КТЗ, дій оператора, умов використання КТЗ, управління реалізацією заданого закону руху КТЗ в умовах інфраструктурного середовища. Основні положення в частині формування бортової складової інформаційного комплексу КТЗ були виконані й описані, за участю автора, у попередніх дослідженнях НТУ, ХНАДУ і ХДМА [33-39, 50, 65, 70-77, 85-87]. В подальшому розглянемо процес формування інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура».

3.3 Особливості формування інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

Для формування інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура» використано метод діаграм потоків даних (DFD - Data Flow Diagram) [40, 50, 65, 70, 73, 74, 88-95]. На рис. 3.4 показна DFD-діаграма верхнього описового рівня системи «КТЗ – Інфраструктура». Подальше уточнення діаграми потоків даних проводимо шляхом декомпозиції її об'єктів.

Джерелами первинної інформації в системі «КТЗ – Інфраструктура» (рис. 3.4) виступають «Учасники процесу управління засобами транспорту», «Процеси управління системи: для забезпечення моніторингу і забезпечення заданого закону руху КТЗ», «Бази даних, програмне забезпечення системи», «Рівень телематичного забезпечення системи», що вважаються «зовнішніми сутностями» [40, 50, 65, 70, 73, 74, 88-95]. До функціональних завдань інформаційної системи відносимо ідентифікацію, моніторинг параметрів, діагностування технічного стану КТЗ, оцінку умов експлуатації КТЗ засобами ІТС тощо.

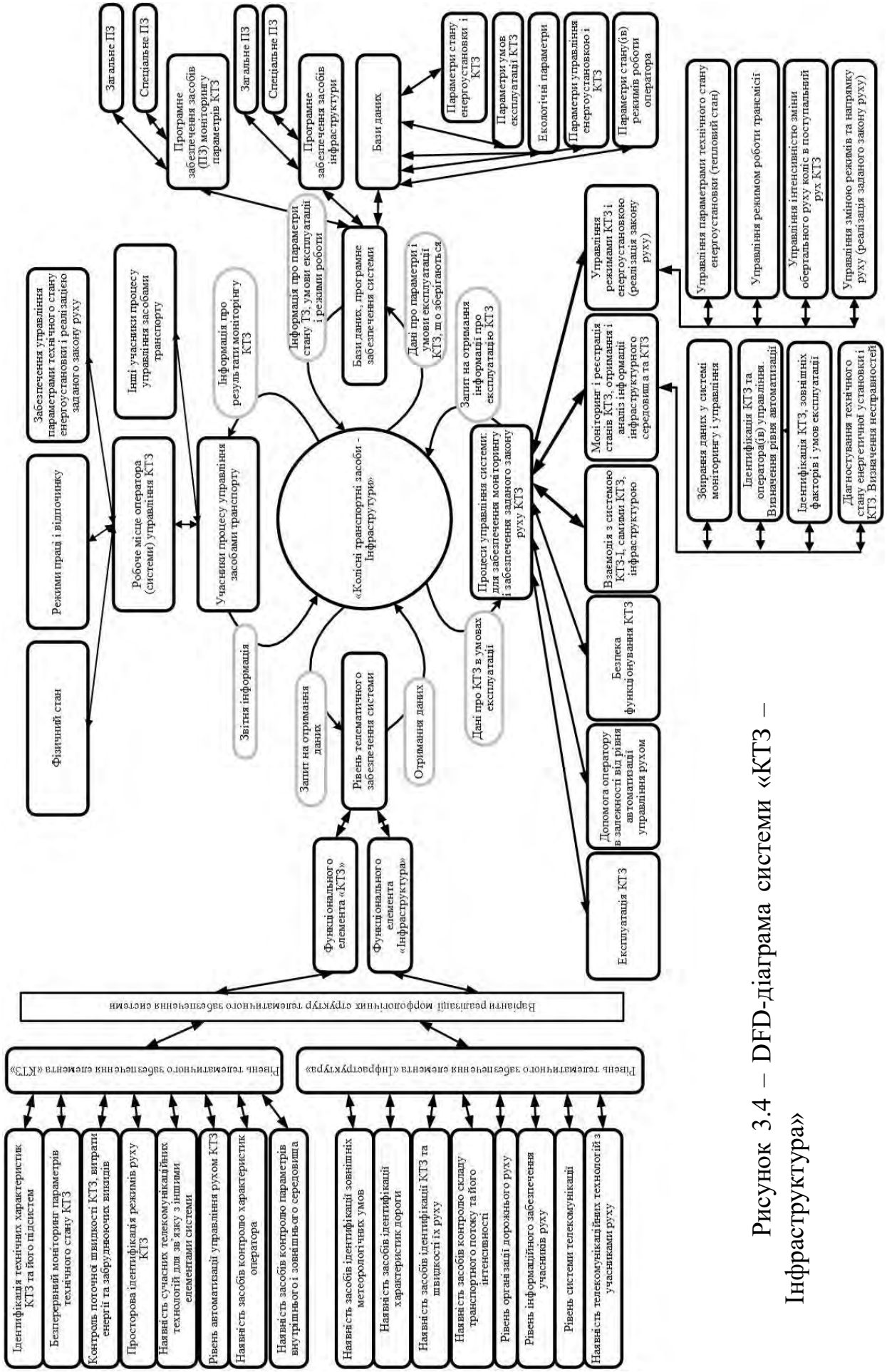


Рисунок 3.4 – DFD-діаграма системи «КТЗ – Інфраструктура»

Згідно вимог і завдань до інформаційної системи в частині ПЗ [40, 50, 65, 70, 73, 74, 88-95], вона реалізує вирішення задач показаних на рис. 3.5.

В межах DFD-діаграми, розроблено структуровану інформаційну модель системи «КТЗ – Інфраструктура» (рис. 3.5). При її формуванні, для проведення формалізації основних процесів, застосували методологію структурного аналізу і проектування SADT [40, 50, 65, 70, 73, 74, 88-95]. Вихідними даними для забезпечення її роботи, у відповідності до положень методології IDEF0, особливостей конструктивного виконання КТЗ та умов експлуатації, є інформація про технічний стан КТЗ і варіант морфологічної структури, що отримуються дистанційно.

Основними етапами обробки отриманої інформації про технічний стан КТЗ в системі «КТЗ – Інфраструктура» є: ідентифікація КТЗ у системі моніторингу і 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; ідентифікація умов експлуатації; діагностування стану, збирання повідомлень і даних діагностування КТЗ; перевірка відповідності дійсного стану КТЗ отриманим параметрам та умовам експлуатації.

Для адаптації системи «КТЗ – Інфраструктура» в структуру і процеси роботи транспорту необхідно внести відповідні зміни в ПЗ та у налаштування апаратного. В наступних розділах представлено бачення автора щодо функціональної структури та інформаційної взаємодії системи з засобами ІТС.

В цьому випадку, у загальне програмне забезпечення автором внесені доповнення в частині алгоритмів роботи програмного забезпечення при виконанні: ідентифікації КТЗ та умов експлуатації, перевірки відповідності стану КТЗ умовам експлуатації. Крім цього, достатньо повно забезпечена співпраця розробленої системи з уже існуючими інформаційними комплексами [40, 50, 65, 70, 73, 74, 88-95].

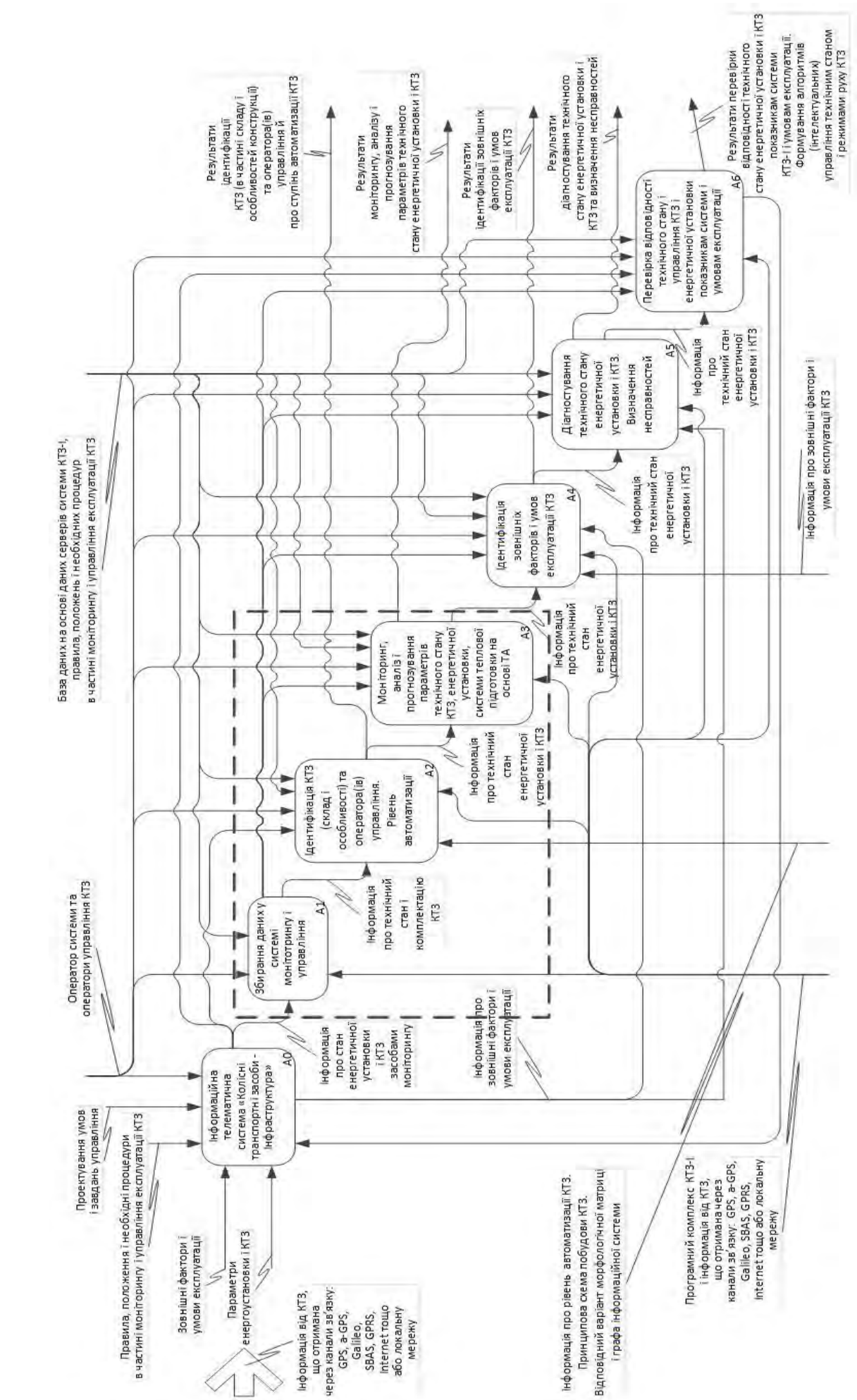


Рисунок 3.5 – Структурована інформаційна модель системи «КТЗ – Інфраструктура»

В цілому систему «КТЗ – Інфраструктура» можливо розглядати як комплексну в частині моніторингу й управління КТЗ, що залежить від технічних та організаційних факторів, які потрібно поєднувати у сукупності процесів на різних рівнях системи [40, 78-84, 96]:

- телематичному (моніторинг, аналіз, прогнозування, діагностування співставлення складових), F_{i1};

- аналітичному (перетворення вихідної 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), F_{i2}.

На рис. 3.6 показаний варіант системної взаємодії функціональних елементів системи «КТЗ – Інфраструктура» в залежності від рівнів її реалізації. На основі положень *Def Stan 00-60* [96] і системних підходів [33, 40, 78-84] формуємо функціонал системи для забезпечення її працездатності, як поєднання складових (у відповідності положень рис. 3.6):

- збирання інформації про параметри стану КТЗ і ЕУ (*PSKTZ*);
- обробка інформації про параметри стану КТЗ і ЕУ (*OIKTZ*);
- прогнозування параметрів стану КТЗ і ЕУ (*PPKTZ*);
- збирання й обробка інформації про рівень автоматизації КТЗ і ЕУ, ідентифікація КТЗ та оператора (*IKTZ*);
- збирання й обробка інформації про умови експлуатації (*ZFUEKTZ*);
- діагностування технічного стану КТЗ і ЕУ (*DKTZ*);
- управління параметрами технічного стану КТЗ і ЕУ (*UPSKTZ*);
- управління трансмісією КТЗ (*URTKTZ*);
- управління перетворенням руху коліс в поступальний рух КТЗ (*IPUKTZ*);
- забезпечення заданого закону руху КТЗ (*UZRKTZ*).

Всі перераховані складові телематичного (*PSKTZ, OIKTZ, PPKTZ, IKTZ, ZFUEKTZ, DKTZ*) й аналітичного (*UPSKTZ, URTKTZ, IPUKTZ, UZRKTZ*) рівнів є складними функціями процесу експлуатації КТЗ і взаємодії елементів системи в залежності від рівня реалізації її морфологічних ознак.

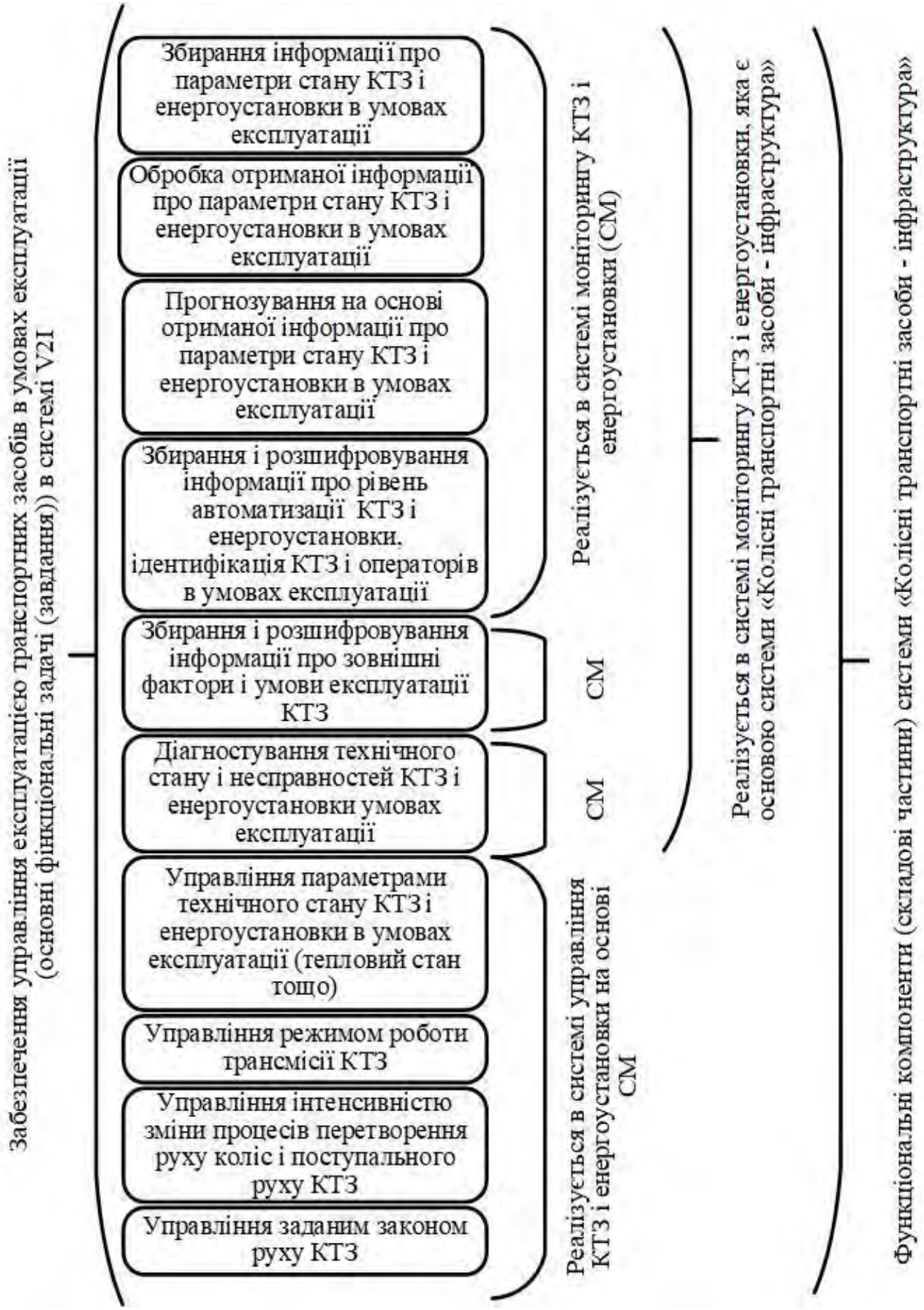


Рисунок 3.6 – Системна взаємодія функціональних елементів системи «КТЗ – Інфраструктура» в залежності від рівнів її реалізації

Сукупність цих функцій – це деякий функціонал, що характеризує придатність системи до забезпечення основних процесів експлуатації й управління КТЗ [33-35, 40, 50, 65, 70-74, 78-84, 96-98]:

$$S = F\,(F_{i1}\,(PSKTZ,\ OIKTZ,\ PPKTZ,\ IKTZ,\ ZFUEKTZ,\ DKTZ\ldots);\ F_{i2}\,(UPSKTZ,\ URTKTZ,\ IPUKTZ,\ UZRKTZ\ldots))), \quad (3.1)$$

де S – функціонал, що характеризує придатність системи до забезпечення основних процесів експлуатації й управління.

У найпростішому випадку функціонал S може бути виражений «зваженою» алгебраїчною сумою:

$$S = k_{\sum in} \cdot F = F\,(k_{\sum i1} \cdot F_{i1};\ k_{\sum i2} \cdot F_{i2}) \quad (3.2)$$

де: $k_{\sum in}$ - вагові коефіцієнти, які виконують роль нормуючих множників, що приводять всі величини у відношеннях до одного порядку.

Чим більше величина S, тим вище рівень придатності системи до забезпечення основних процесів експлуатації й управління КТЗ. Аналіз складових функціоналу S вказує на їх часовий характер, тобто всі складові - це параметри часу [33-35, 40, 50, 65, 70-74, 78-84, 96].

Особливістю функціоналу S, крім даних, визначених конструкцією КТЗ і інфраструктури, є логістичний аналіз технологічних процесів системи, що забезпечує необхідний обсяг інформації для ефективної експлуатації КТЗ [33-35, 40, 50, 65, 70-74, 78-84, 96-98], який включає:

- вимоги до стаціонарного та мобільного обладнання, необхідного для експлуатації та управління КТЗ;

- вимоги до інфраструктури технічної експлуатації КТЗ;

- вимоги до розподілу експлуатаційних і керуючих робіт на організаційних рівнях;

- вимоги до кількісного та якісного складу персоналу і його кваліфікації на всіх організаційних рівнях;

- вимоги до підготовки персоналу і засобів їх навчання;

- вимоги до умов зберігання і транспортування КТЗ, особливості роботи з експлуатаційними матеріалами.

Відповідно до цього, виникає актуальне завдання формування в системі «КТЗ – Інфраструктура» параметра придатності до забезпечення основних процесів експлуатації й управління КТЗ (*S*). Цей параметр становить основу ефективної інтеграції системи в сучасні телематичні структури і процеси експлуатації КТЗ [33, 97, 98]. В структурі системи також необхідне формування способів і засобів розвитку параметра *S* та його оцінки в структурі сучасних ІТС [33-35, 40, 50, 65, 70-74, 78-84, 96-98].

Отже, формування інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура» пов'язано безпосередньо з формуванням оперативних нормативів для забезпечення ефективності експлуатації КТЗ.

3.4 Особливості функціонування інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

3.4.1 Телематична підсистема

Телематична підсистема включає в себе сукупність стаціонарних і мобільних засобів збору та передачі інформації [33, 73, 189].

Засоби збору є телекомунікаційною мережею обміну даними, яка може використовувати всі способи передачі даних. Стаціонарні пости інфраструктури виконують комунікаційні функції і найпростіші функції контролю. Ці функції забезпечують отримання контрольно-вимірювальної і технологічної інформації від бортових систем, контроль часу руху КТЗ в заданих пунктах, збір інформації про комунікації і споруди, передачу даних в систему «КТЗ – Інфраструктура» [33, 73].

Ситуаційним й оперативним центром управління у базовому варіанті системи є робоче місце мережі моніторингу КТЗ, яке будується на базі інформаційно-

обчислювальної системи з використанням базового і розробленого автором програмного забезпечення [33, 73, 97, 98]. Також з цією метою можуть використовуватись й інші засоби і центри оперативного управління системи «КТЗ – Інфраструктура».

Основний принцип інформаційного обміну між елементами телематичної структури КТЗ і транспортної інфраструктури полягає в тому, що КТЗ є не тільки об'єктом контролю та управління, але також джерелом постійно поновлюваної інформації про технічний стан, управління й умови його експлуатації. Тобто система – це сучасний контрольно-вимірювальний комплекс, який накопичує і зберігає інформацію про технічний стан та управління КТЗ, умови його експлуатації в межах відстані руху, а також приймає рішення при необхідності керування ним, виявленні небезпечної, аварійної ситуації або несправності КТЗ [33, 73, 97, 98].

3.4.2 Загальне інформаційне забезпечення

Основу інформаційного забезпечення системи складають функції телематичного й аналітичного рівнів параметра придатності системи до забезпечення основних процесів експлуатації та управління КТЗ функціонала *S*, описаного залежністю (3.1)

Загальна задача формування інформаційної складової телематичної системи базується на отриманні інформації про фактичний технічний стан, методи і засоби її реалізації при вирішенні конкретних науково-технічних задач, оцінки та перевірки відповідності встановленим обмеженням системи, засобам для його забезпечення, критеріям оцінювання отриманих показників та визначення взаємозв’язку між ними [33, 73, 97, 98].

Основні варіанти інформації про фактичні параметри КТЗ в системі «КТЗ – Інфраструктура» можна представити у вигляді функцій:

- в процесах оперативного управління КТЗ у відповідний момент часу:

$$
\begin{cases}
F_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii}\left(\begin{matrix}\bar{H}_t, t, \Delta t, \bar{X}_i(t), \bar{X}_i(t-\Delta t), \ldots, \\ \bar{X}_i(t-n\Delta t), DTC_{s_i} K_{t_i}\end{matrix}\right) \Rightarrow \\
\qquad\qquad S_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii}(t)_i \\
\Omega_l^{m_i}\left(e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii}, r\right)^J = \Omega_l^{m_i}\left(\left\{\begin{matrix} e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,PSKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,OIKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,PPKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,IKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,ZFUEKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,DKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,UPSKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,URTKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,IPUKTZ} \\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,UZRKTZ} \end{matrix}\right\}^J, r\right) = \\
\qquad\qquad S_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii}(t)_i \\
S_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii}(t)_i = \\
\qquad F_{\Sigma e.y.\Sigma KT3-Ii}\left(\begin{matrix} S_{e.y.KT3-Ii}(t)_i, \\ S_{e.y.VKT3\,di}(t)_i, \\ S_{e.y.Ne\,\Sigma KT3-Ii\,ti}(t)_i \end{matrix}\right)
\end{cases}
\tag{3.3}
$$

- в процесах прогнозування параметрів КТЗ:

$$
\begin{cases}
F_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii\left(t+k\Delta t\right)}\left(\begin{matrix}\bar{H}_{\left(t+k\Delta t\right)},t,\Delta t,\bar{X}_i\left(t+k\Delta t\right),\bar{X}_i\left(t+\left(k-1\right)\Delta t\right),\ldots,\\ \bar{X}_i\left(t+\left(k-n\right)\Delta t\right),DTC_{s_i}K_{t_{i(t+k\Delta t)}}\end{matrix}\right)\Rightarrow \\
\qquad\qquad S_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii}\left(t+k\Delta t\right)_i \\
\Omega_l^{m_i}\left(\begin{matrix}e\\ \Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii\left(t+k\Delta t\right)\end{matrix},r\right)^J=\Omega_l^{m_i}\left(\left\{\begin{matrix}e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,PSKTZ\ (t+k\Delta t)}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,OIKTZ_{(t+k\Delta t)}}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,PPKTZ\ (t+k\Delta t)}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,IKTZ_{(t+k\Delta t)}}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,ZFUEKTZ_{(t+k\Delta t)}}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,DKTZ\ (t+k\Delta t)}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,UPSKTZ_{(t+k\Delta t)}}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,URTKTZ_{(t+k\Delta t)}}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,IPUKTZ\ (t+k\Delta t)}\\ e_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii,UZRKTZ\ (t+k\Delta t)}\end{matrix}\right\},r\right)= \\
\qquad\qquad S_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii}\left(t+k\Delta t\right)_i \\
S_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii\left(t+k\Delta t\right)i}= \\
\qquad F_{\Sigma e.y.\Sigma КТЗ-Ii\left(t+k\Delta t\right)}\left(\begin{matrix}S_{e.y.КТЗ-Ii}\left(t\right)_i,\\ S_{e.y.VKTЗ\,di}\left(t\right)_i,\\ S_{e.y.Ne\,\Sigma КТЗ-Ii\,ti}\left(t\right)_i\end{matrix}\right)
\end{cases}
\tag{3.4}
$$

де $F_{\Sigma e.y.\Sigma\,КТЗ-Ii}$ - інформація про параметри КТЗ у відповідний момент часу; $\bar{H}_t$ - вектор станів органів керування КТЗ (координати з датчиків органів керування тощо) у відповідний період часу *t*; *t* – поточний момент часу; Δ*t* – розрахунковий інтервал часу в процесі експлуатації КТЗ; $\bar{X}_i(t)$ при *i = 1, … , m* –

характеристики процесу експлуатації КТЗ, що виміряні і входять в перелік впливових факторів (параметри технічного стану КТЗ); n – кількість інтервалів (встановлене число вимірювань) у попередні періоди процесу експлуатації КТЗ; m – кількість вимірюваних параметрів експлуатації КТЗ; $DTC_{s_i} K_{t_i}$ - результати визначення діагностичних кодів технічних несправностей в процесі експлуатації КТЗ; $S_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii}(t)_i$ – параметр придатності до забезпечення основних процесів експлуатації й управління КТЗ у відповідний момент часу (в розглянутому випадку система показує відображення властивостей підоб'єктів процесу експлуатації КТЗ у відповідний момент часу та їх відношень r для m_i по J в l); m_i - кількість засобів отримання інформації (засобів спостереження) про параметри експлуатації КТЗ у відповідний момент часу; l - зв'язки між засобами спостереження, забезпечення експлуатації і керування та підоб'єктами інфраструктурного середовища КТЗ; Ω - оператор відображення морфологічної структури телематичного забезпечення системи; $F_{\Sigma e.y.\Sigma KT3-Ii}$ - функціонал повного забезпечення інформацією про експлуатацію КТЗ; $S_{e.y.KT3-Ii}(t)_i$ - функціонал забезпечення інформацією про експлуатацію КТЗ на основі серверних рішень; $S_{e.y.VKT3\,di}(t)_i$ - функціонал забезпечення інформацією про експлуатацію КТЗ від локального джерела; $S_{e.y.Ne\,\Sigma KT3-Ii\,ti}(t)_i$ - функціонал забезпечення інформацією про експлуатацію КТЗ від мережевих баз даних; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii}$ - множина підоб'єктів визначення інформації про експлуатацію КТЗ ($e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,PSKTZ}$ - збирання інформації про параметри стану КТЗ і ЕУ; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,OIKTZ}$ - обробка інформації про параметри стану КТЗ і ЕУ; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,PPKTZ}$ - прогнозування параметрів стану КТЗ і ЕУ; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,IKTZ}$ - збирання і обробка інформації про рівень автоматизації КТЗ і ЕУ, ідентифікація КТЗ і оператора; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,ZFUEKTZ}$ - збирання і обробка інформації про умови експлуатації КТЗ; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,DKTZ}$ -

діагностування технічного стану КТЗ і ЕУ; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,UPSKTZ}$ - управління параметрами технічного стану КТЗ і ЕУ; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,URTKTZ}$ - управління трансмісією КТЗ; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,IPUKTZ}$ - управління перетворенням руху коліс в поступальний рух КТЗ; $e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii,UZRKTZ}$ - забезпечення заданого закону руху КТЗ; *r* - множина відношень між основними підоб'єктами визначення інформації про експлуатацію КТЗ; *J* - завдання визначення інформації про експлуатацію КТЗ; $F_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii(t+k\Delta t)}$ - прогнозована інформація про параметри експлуатації КТЗ у відповідний момент часу в майбутньому (наступному) інтервалі часу ($t_0 + k\Delta t$) в залежності від відомих значень у минулому (попередні інтервали часу), в заданому інтервалі прогнозування δ із заданою довірчою ймовірністю *p*; *k* - кількість інтервалів часу для прогнозованих значень параметрів технічного стану у майбутньому, яка визначає тип прогнозу - короткотерміновий, середьотерміновий тощо ($e_{\Sigma e.y.\Sigma\, KT3-Ii(t+k\Delta t)}$).

З урахуванням залежностей (3.3) і (3.4) створюється єдине централізоване сховище розподіленої у часі і просторі інформації у вигляді баз даних телематичної системи, підтримки інтелектуального багатокористувацького середовища отримання інформації в ситуаційних та оперативних центрах управління, можливість доступу віддалених користувачів, систематизації інформації за допомогою моделей та інтелектуальних алгоритмів та її наочного відображення.

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

Управління системою «КТЗ – Інфраструктура» – це багатофакторна задача пошуку оптимальних технічних й експлуатаційних рішень щодо швидкості КТЗ, витрат палива і викидів шкідливих речовин, яка може бути представлена в

загальному вигляді в залежності від варіантів реалізації морфологічних структур телематичного забезпечення системи наступною функцією:

$$L = F\left(F_{ts}; O_{Gt_i}; A_{iK}\right),$$

де F_{ts} - показник ефективності експлуатації КТЗ щодо його положення на дорозі, маршруту руху, швидкості руху, що складається з географічної моделі автомобільної дороги $F_{ts\,\Sigma e.y.\Sigma\,KT3-Ii}\left(RV_{Road}\right)_i$, інформаційної моделі положення КТЗ на автомобільній дорозі $F_{ts}\left(RV_{Traffic}\right)_i$, моделі маршруту руху $F_{ts}\left(RV_{Marshrut}\right)_i$, швидкісної моделі режимів руху КТЗ $F_{ts}\left(RV_{Route_{\text{Properties}}}\right)_i$;

O_{Gt_i} - показник ефективності експлуатації КТЗ при оцінюванні паливної економічності в заданих умовах руху з урахуванням температурного стану ЕУ КТЗ;

A_{iK} - показник коригування швидкості руху КТЗ в залежності від особливостей маршруту КТЗ, умов експлуатації і реалізованої морфологічної структури телематичного забезпечення $A_{iK\,\Sigma e.y.\Sigma\,KT3-I_i}\left(t\right)_i$.

Розглянемо складові показника ефективності експлуатації КТЗ. В процесі оцінювання ефективності експлуатації КТЗ в інтелектуальній системі «КТЗ – Інфраструктура» у відповідний момент часу використовувалась географічна модель автомобільної дороги $F_{ts}\left(RV_{Road}\right)_i$ в Google Maps, яка являє собою шар лінійних об’єктів з параметрами інформаційної взаємодії [33, 73, 97, 98]:

$$F_{ts\,\Sigma e.y.\Sigma\,KT3-Ii}\left(RV_{Road}\right)_i = \begin{pmatrix} Ident_{RV_i}, Cat_{RV_i}, Cod_{Dil_i}, \text{Distanse}_{Descr_i}, \\ Type_{RVn_i}, Type_{Roadn_i}, Track_{V_i}, Ident_{\Sigma e.y.\Sigma\,KT3-Ii}RV_i \end{pmatrix}, \quad (3.5)$$

де $Ident_{RV_i}$ – ідентифікатор *i*-тої ділянки руху КТЗ (за параметрами експлуатації КТЗ);

Cat_{RV_i} – категорія *i*-тої ділянки автомобільної дороги (у відповідності до умов експлуатації КТЗ [99-101]);

Cod_{Dil_i} – код *i*-тої ділянки автомобільної дороги (на основі інформації про умови експлуатації КТЗ [99-101]);

$Distanse_{Descr_i}$ – опис *i*-тої ділянки автомобільної дороги (дорожні умови експлуатації КТЗ [99-101]);

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

$Type_{Roadn_i}$ – тип дорожнього покриття *i*-тої ділянки автомобільної дороги (на основі інформації про умови експлуатації КТЗ [99-101]);

$Track_{V_i}$ – ширина смуги руху *i*-тої ділянки автомобільної дороги (на основі інформації про умови експлуатації КТЗ [99-101]);

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

На основі географічної моделі була розроблена інформаційна модель положення КТЗ на автомобільній дорозі. Кожна ділянка моделі описується наступним вектором параметрів [33, 73, 97, 98]:

$$F_{ts}\left(RV_{Traffic}\right)_i = \left(Ident_{RV_i}, Ident_{PRoute_i}, Ident_{\Sigma e.y.\Sigma KT3-Ii}{}^{RV_i} \right), \qquad (3.6)$$

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

$Ident_{PRoute_i}$ – ідентифікатор ділянок маршруту руху КТЗ.

На основі інформаційної моделі положення КТЗ формується модель маршруту руху, яка описує шлях руху КТЗ за допомогою лінійної функції у формі наступного вектору параметрів:

$$F_{ts}\left(RV_{Marshrut}\right)_i = \left(Ident_{RV_i}, Ident_{Route_i}, Ident_{\Sigma e.y.\Sigma KT3-Ii} RV_i \right), \quad (3.7)$$

де $Ident_{Route_i}$ – ідентифікатор маршруту руху КТЗ.

Швидкісна модель режимів руху КТЗ фактично є таблицею лінійних подій, що накладається на маршрут руху і має наступну структуру функціоналу [33, 73, 97, 98]:

$$F_{ts}\left(RV_{Route_{\text{Properties}}}\right)_i = \\ = \Big(Ident_{RV_i}, Ident_{Route_i}, Route_{\text{Pr}operty_i}, Ident_{SR_i}, \\ Coordinate_{First_i}, Coordinate_{End_i}, Value_{V_i}, Date_i, Base_{Speed_i}, Ident_{\Sigma e.y.\Sigma KT3-Ii} RV_i \Big), \quad (3.8)$$

де $Route_{Property_i}$ – тип маршруту руху КТЗ;

$Ident_{SR_i}$ – ідентифікатор *i*-тої ділянки швидкісного режиму руху КТЗ;

$Coordinate_{First_i}$ – початок *i*-тої ділянки швидкісного режиму руху КТЗ;

$Coordinate_{End_i}$ – кінець *i*-тої ділянки швидкісного режиму руху КТЗ;

$Value_{V_i}$ – встановлена допустима швидкість на *i*-тій ділянці руху КТЗ;

$Date_i$ – дата і час встановлення швидкості на *i*-тій ділянці руху КТЗ;

$Base_{Speed_i}$ – встановлена швидкість на *i*-тій ділянці руху КТЗ.

В процесах оцінювання ефективності експлуатації КТЗ, в залежності від реалізованого варіанту морфологічної структури телематичного забезпечення системи, можливо вирішувати задачу поліпшення паливної економічності в заданих умовах руху.

Дані про витрату палива в процесі експлуатації КТЗ визначаються згідно серверних рішень і локального джерела інформації (КТЗ) та порівнюються з встановленими лінійними нормами витрати палива КТЗ [33, 73, 97, 98]. Для

оцінювання ефективності експлуатації КТЗ за витратлю палива визначають ступінь відхилення:

$$
\begin{cases}
O_{Gt_i} = F\left(Ot_{Gtдв_i}; Ot_{Gtкат_i}; O_{Gt_i \Sigma e.y.\Sigma КТЗ-I_i}\left(t\right)_i\right), \\
Ot_{Gtдв_i} = \begin{cases} O_{Gtдв_i} \to \max \\ O_{Gtдв.J_i} \to \max \end{cases} \\
Ot_{Gtкат_i} = O_{Gtкат_i}(t) \to \max \\
O_{Gt_i \Sigma e.y.\Sigma КТЗ-I_i}\left(t\right)_i = \max\limits_{J=1.N} O_{Gt_{ij} \Sigma e.y.\Sigma КТЗ-I_i}\left(t\right)_i
\end{cases}
\tag{3.9}
$$

де $Ot_{Gtдв_i}$ – показник ефективності експлуатації КТЗ за температурним станом ЕУ (прагне досягти максимально допустимого значення), який включає $O_{Gtдв_i}$ - показник температурного стану двигуна КТЗ та $O_{Gtдв.J_i}$ - показник температурного стану інших складових ЕУ КТЗ (крім каталітичного нейтралізатора);

$Ot_{Gtкат_i}$ – показник ефективності експлуатації КТЗ за температурним станом каталітичного нейтралізатора КТЗ (прагне досягти максимально допустимого значення);

$O_{Gt_i \Sigma e.y.\Sigma КТЗ-I_i}\left(t\right)_i$ – найбільша витрата палива Gt_{ij} *j*-го КТЗ на *i*-й ділянці швидкісної моделі режимів руху КТЗ;

N – кількість визначених витрат палива на відповідних ділянках;

t – фактор часу.

Для забезпечення ефективності експлуатації КТЗ у відповідний момент часу необхідно проводити коригування швидкості руху КТЗ в залежності від поточних умов маршруту. Коригування швидкості здійснюється за ділянками географічної моделі автомобільної дороги відповідно до алгоритмів навчання системи:

$$A_{iK\,\Sigma e.y.\Sigma КТЗ-I_i}(t)_i = \begin{pmatrix} O_{p_i}(t)_i, O_{c_i}(t)_i, O_{t_i}(t)_i, O_{Gt_i}(t)_i, \\ Ident \\ \Sigma e.y.\Sigma КТЗ-Ii\, RV_i \end{pmatrix}, \text{K} = 1,\ldots, 8 \qquad (3.10)$$

де $O_{p_i}(t)_i$ – оцінка типу і стану дорожнього покриття;

$O_{c_i}(t)_i$ – оцінка стану об'єктів інфраструктурного середовища, що впливають на рух КТЗ;

$O_{t_i}(t)_i$ – оцінка рівня небезпеки природних об'єктів автомобільної дороги;

$O_{Gt_i}(t)_i$ – оцінена економія палива КТЗ у відповідний момент часу на основі порівняння даних про витрату з боку серверних рішень і локального джерела інформації (КТЗ) з лінійною нормою витрати палива КТЗ.

Ступінь безпеки *i*-ї ділянки швидкісної моделі руху КТЗ оцінюється за допомогою розробленої матриці подій. Пропонується використовувати 8 ступенів безпеки руху в залежності від умов експлуатації КТЗ [33, 49, 73, 97-102] (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Ступені безпеки ділянки швидкісної моделі руху КТЗ

№ п/п	Позначення	Ступінь безпеки
1	A_1	відмінний стан (безаварійний)
2	A_2	достатній стан з незначним ступенем небезпеки
3	A_3	достатній стан з низьким ступенем небезпеки
4	A_4	задовільний стан з низьким ступенем небезпеки
5	A_5	задовільний стан із середнім ступенем небезпеки
6	A_6	задовільний стан з високим ступенем небезпеки
7	A_7	незадовільний стан з пересуванням з мінімальною швидкістю в надзвичайних випадках
8	A_8	незадовільний стан із забороною руху

Для кожної ситуації $A_{iK}(t)_i$ на реальному маршруті передбачено визначення швидкості руху КТЗ, яка забезпечить мінімальну витрату палива на маршруті. Тоді швидкість руху КТЗ $V_i(t)_i$ на *i*-й ділянці може бути визначена наступним чином:

$$V_i(t)_i = F\begin{pmatrix} V_{ib}(t)_i, V_i(t-\tau)_i, A_{iK}(t-\tau)_i, \\ Ident \\ \Sigma e.y.\Sigma КТЗ - Ii^{RV_i} \end{pmatrix}, \quad (3.11)$$

де $V_{ib}(t)_i$ – рекомендована швидкість КТЗ;

$V_i(t-\tau)_i$ – фактична швидкість КТЗ;

$A_{iK}(t-\tau)$ – величина коригування швидкості з урахуванням ступеня безпеки *i*-ї ділянки швидкісної моделі руху КТЗ.

Таким чином, запропоновано варіант реалізації загального інформаційного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура» з використанням серверних рішень, локального джерела інформації і мережевих баз даних. Запропоноване інформаційне забезпечення процесу експлуатації КТЗ забезпечує збір й обробку інформації в реальному часі від бортової інформаційної системи моніторингу КТЗ, а також від системи збору інформації, що взаємодіє із оператором та інфраструктурним середовищем.

3.4.3 Структура функціональних можливостей

Структура і взаємозв’язок функціональних можливостей інформаційної системи [199] для отримання інформації про стан КТЗ (у складі автопоїзду), оператора і реєстратора показані на рис. 3.7 – 3.8. В основу системної взаємодії покладені основні функції інформаційної системи для елемента «КТЗ» (рис. 3.7) та елемента «Інфраструктура» (рис. 3.8).

Для елемента «КТЗ» інформаційна система забезпечує: ідентифікацію технічних характеристик КТЗ та його підсистем; безперервний моніторинг параметрів технічного стану КТЗ; контроль поточної швидкості КТЗ, витрати енергії та викидів забруднюючих викидів; просторову ідентифікацію режимів руху КТЗ; наявність сучасних телекомунікаційних технологій для зв'язку з іншими елементами системи; рівень автоматизації управління рухом КТЗ; наявність засобів контролю характеристик оператора; наявність засобів контролю параметрів внутрішнього і зовнішнього середовища.

Рисунок 3.7 – Структура і взаємозв'язок функціональних можливостей інформаційної системи для елемента «КТЗ»

Рисунок 3.8 – Структура і взаємозв'язок функціональних можливостей інформаційної системи для елемента «Інфраструктура»

Для елемента «Інфраструктура» телематична система забезпечує: наявність засобів ідентифікації зовнішніх метеорологічних умов; наявність засобів ідентифікації характеристик дороги; наявність засобів ідентифікації КТЗ та швидкості їх руху; наявність засобів контролю складу транспортного потоку та його інтенсивності; рівень організації дорожнього руху; рівень інформаційного забезпечення учасників руху; рівень системи телекомунікації; наявність телекомунікаційних технологій з учасниками руху.

В результаті взаємодії між елементами і функціями інформаційної системи, інформація перерозподіляється між основними блоками збирання та передачі інформації елементів «КТЗ» і «Інфраструктура». Обмін інформацією між елементами системи може здійснюватись в ручному, автоматизованому й автоматичному режимах.

3.4.4 Особливості інтелектуальної обробки інформації

Алгоритм та основні етапи збору даних в процесі експлуатації КТЗ для забезпечення їх інтелектуалізації побудовані на основі методів Data Mining [33, 73, 103-114], які мають свої особливості.

Data Mining – збірна назва, що використовується для позначення сукупності методів виявлення на основі фактичних даних, раніше невідомих, нетривіальних, практично корисних і доступних для інтерпретації знань, необхідних для прийняття рішень в різних сферах діяльності [103-109]. Методи Data Mining лежать на стику баз даних, статистики та штучного інтелекту [110-114].

До основних етапів вирішення завдань методами Data Mining відносять наступні: постановка завдання аналізу; збір даних; підготовка даних (фільтрація, доповнення, кодування); вибір алгоритму аналізу даних; підбір параметрів моделі й алгоритму навчання та адаптації; навчання моделі (автоматичний пошук інших параметрів моделі); аналіз якості навчання; аналіз виявлених закономірностей.

Перед виконанням аналізу даних в алгоритмі Data Mining передбачено підготовку набору аналізованих даних. Це пов’язано з тим, що аналіз даних може виявити лише присутні в них закономірності, що, в свою чергу, вимагає щоб

вихідні дані з одного боку мали достатній обсяг, і щоб ці закономірності в них були присутні, а з іншого – бути достатньо компактними, щоб аналіз зайняв прийнятний час.

Далі дані очищуються для видалення виборок з шумами (похибками) і пропущеними даними. Очищені дані зводяться до наборів ознак або векторів. Набір ознак формується відповідно до гіпотез про те, які ознаки необроблених даних мають високу прогнозну силу в розрахунку, враховуючи необхідну обчислювальну потужність для обробки. Вибір цільової функції буде залежати від того, що є метою аналізу. Спостереження діляться на дві категорії – навчальний набір і тестовий набір. Навчальний набір використовується для навчання алгоритму Data Mining, а тестовий набір – для перевірки знайдених закономірностей [110, 111].

Зв’язок основних етапів вирішення завдань методами Data Mining з основними операціями обробки даних в інформаційній моделі системи «КТЗ – Інфраструктура» наведено в табл. 3.2. Як видно із представленого зв’язку, методи Data Mining особливо необхідні для ефективного функціонування серверної частини інформаційної системи під час виконання операції обробки отриманих параметрів, прогнозування та ефективне управління експлуатацією КТЗ в заданих інфраструктурних умовах.

3.5 Особливості предметної області інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

Предметна область $M_{заг}$ інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура» складається з параметрів технічного стану КТЗ, оператора і реєстраторів. Вона представлена у вигляді наступної множини: параметрів технічного стану ЕУ і КТЗ $M_{ТЗ}$; часу роботи оператора M_{tg}; додаткових параметрів стану КТЗ, причепа (автопоїзда), екологічних показників КТЗ Mtr1, системи теплової підготовки Mtr2, та фізичного стану оператора МФСВ [115-119, 201].

Таблиця 3.2 – Зв’язок основних етапів вирішення завдань методами Data Mining з основними операціями обробки даних в інформаційній моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

Назва операції обробки даних в інформаційній моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»	Параметри процесів моніторингу КТЗ або формат файлу даних	Необхідність використання методів *Data Mining*				Основні етапи вирішення завдань методами Data Mining
		Штатні блоки керування КТЗ	Додаткове телематичне обладнання КТЗ	Обладнання інфраструктурного середовища	Серверна частина інформаційної системи	
Встановлення вихідних даних, формування морфологічної матриці, вибір телематичного забезпечення системи КТЗ-І	Δt, T	-	+ (-)	+ (-)	+	1. Постановка завдання аналізу; 2. Збір даних
Запуск змінних ПЗ, логічне керування процесом експлуатації КТЗ	i, t	-	+ (-)	+ (-)	+	
Зчитування параметрів КТЗ засобами моніторингу	V_n	-	+ (-)	+ (-)	+	
Отримання часового масиву інформації про параметри експлуатації КТЗ	D_i	-	+ (-)	+ (-)	+	
Визначення розрахункової кількості кроків для підготовки файлів звіту оператором	$T/\Delta t$	-	-	-	+	
Вибір режимів роботи засобів моніторингу в умовах експлуатації, передача отриманої інформації в оперативному режимі до ситуаційних і оперативних центрів управління	*.csv* *. xlsx*	-	- (+)	+ (-)	+	3. Підготовка даних (фільтрація, доповнення, кодування)
Реєстрація звітів, конвертація отриманих даних в таблиці і зображення	*.csv* *. xlsx*	-	+	+ (-)	+	
Передача конвертованих даних в базу даних системи	*.csv* *. xlsx*	-	-	+ (-)	+	
Обробка отриманих параметрів, прогнозування та управління експлуатацією КТЗ	*.csv* *. xlsx*	-	- (+)	+ (-)	+	4. Вибір алгоритму аналізу даних; 5. Підбір параметрів моделі і алгоритму навчання і адаптації; 6. Навчання моделі (автоматичний пошук інших параметрів моделі); 7. Аналіз якості навчання; 8. Аналіз виявлених закономірностей

Предметну область можна представити в загальному вигляді:

$$M_{\text{заг}} = \begin{Bmatrix} \text{М}_{\text{ТЗ}} \\ \text{М}_{tg} \\ \text{М}_{tr1} \\ \text{М}_{tr2} \\ \text{М}_{\text{ФСВ}} \end{Bmatrix}_{\text{ТЗ}} = \begin{Bmatrix} \langle O_{\text{ТЗ}}, V_{\text{ТЗ вх.}}, V_{\text{ТЗ вих.}}, F_{\text{ТЗ}}, H_{\text{ТЗ}}, P_{\text{ТЗ}}, R_{\text{ТЗ}}, \rangle \\ \langle O_{tg}, V_{tg\ \text{вх.}}, V_{tg\ \text{вих.}}, F_{tg}, H_{tg}, P_{tg}, R_{tg}, \rangle \\ \langle O_{tr1}, V_{tr1\ \text{вх.}}, V_{tr1\ \text{вих.}}, F_{tr1}, H_{tr1}, P_{tr1}, R_{tr1}, \rangle \\ \langle O_{tr2}, V_{tr2\ \text{вх.}}, V_{tr2\ \text{вих.}}, F_{tr2}, H_{tr2}, P_{tr2}, R_{tr2}, \rangle \\ \langle O_{\text{ФСВ}}, V_{\text{ФСВ вх.}}, V_{\text{ФСВ вих.}}, F_{\text{ФСВ}}, H_{\text{ФСВ}}, P_{\text{ФСВ}}, R_{\text{ФСВ}}, \rangle \end{Bmatrix}, \quad (3.12)$$

де $O_{\text{ТЗ}}$ O_{tg} O_{tr1} O_{tr2} $O_{ФСВ}$ – множини об’єктів автоматизації для збирання і передачі інформації про параметри технічного стану ЕУ і КТЗ (витрата палива КТЗ, результати діагностування технічного стану КТЗ, умови експлуатації КТЗ); про час роботи оператора (ідентифікація, стан, час роботи та швидкість КТЗ, параметри реєстратора (тахографа) КТЗ); про додаткові параметри стану КТЗ (стан додаткового обладнання КТЗ, екологічні показники КТЗ, параметри трекера КТЗ); про систему теплової підготовки (стан системи теплової підготовки КТЗ, умови експлуатації пристроїв моніторингу КТЗ); про фізичний стану оператора (тиск, пульс, стан стресу та втомленість оператора КТЗ);

$V_{\text{ТЗ вх}}, V_{tg\ \text{вх}}, V_{tr1\ \text{вх}}$, $V_{tr2\ \text{вх}}$, $V_{\text{ФСВ вх}}$ – множини вхідних інформаційних елементів про параметри технічного стану ЕУ і КТЗ; про час роботи оператора; про додаткові параметри стану КТЗ; про систему теплової підготовки КТЗ; про фізичний стану оператора КТЗ;

$V_{\text{ТЗ вих}}$, $V_{tg\ \text{вих}}$, $V_{tr1\ \text{вих}}$, $V_{tr2\ \text{вих}}$, $V_{\text{ФСВ вих}}$ – множини вихідних інформаційних елементів про параметри технічного стану ЕУ і КТЗ; про час роботи оператора; про додаткові параметри стану КТЗ; про систему теплової підготовки КТЗ; про фізичний стану оператора КТЗ;

$F_{\text{ТЗ}}, F_{tg}, F_{tr1}, F_{tr2}, F_{\text{ФСВ}}$ – множини функцій автоматизації обробки інформації про параметри технічного стану ЕУ і КТЗ; час роботи оператора; додаткові параметри стану КТЗ; систему теплової підготовки КТЗ; про фізичний стану оператора КТЗ;

$H_{\text{ТЗ}}$, H_{tg}, H_{tr1}, H_{tr2}, $H_{\text{ФСВ}}$ – множини завдань обробки даних про параметри технічного стану ЕУ і КТЗ; час роботи оператора; додаткові параметри стану КТЗ; систему теплової підготовки КТЗ; про фізичний стану оператора КТЗ;

$P_{\text{ТЗ}}$, P_{tg}, P_{tr1}, P_{tr2}, $P_{\text{ФСВ}}$ – множини користувачів, які забезпечують роботу з інформацією про параметри технічного стану ЕУ і КТЗ; час роботи оператора; додаткові параметри стану КТЗ; систему теплової підготовки КТЗ; про фізичний стану оператора КТЗ;

$R_{\text{ТЗ}}$, R_{tg}, R_{tr1}, R_{tr2}, $R_{\text{ФСВ}}$ – множини відносин (взаємозв'язків) між компонентами $M_{\text{ТЗ}}$, M_{tg} , M_{tr1}, $M_{tr2,}$ $M_{\text{ФСВ}}$ предметної області інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура».

При необхідності мати сумісні бази даних та об'єднувати інформаційні системи, в залежності від вимог конкретного варіанту завдання на створення предметної області, всі функції в частині користування, завдання обробки даних, об'єктів й автоматизації та інформаційні елементи можуть бути як зменшені, так і збільшені за обсягом.

Приклади наповнення множин об’єктів автоматизації, вхідних і вихідних інформаційних елементів, функцій автоматизації обробки інформації, завдань обробки даних, користувачів, відносин (взаємозв'язків) між компонентами, графи інформаційних структур та типи даних в у інформаційних блоках моделі представлено у Додатку А.

Висновки до розділу 3

1. З метою інформаційного забезпечення системи «КТЗ –Інфраструктура» та безперервного моніторингу показників ефективності експлуатації КТЗ в заданих інфраструктурних умовах запропоновано застосовувати інформаційну систему, побудовану з використанням телематичних технологій.

2. Інформаційні складові системи забезпечують вирішення основних задач моніторингу КТЗ, зокрема, автоматичне дистанційне визначення навігаційних, паливно-економічних та екологічних параметрів КТЗ, параметрів технічного стану

КТЗ, просторову ідентифікацію режимів руху КТЗ, стан зв’язку з іншими елементами системи, автоматизацію управління рухом КТЗ, контроль стану оператора та параметрів внутрішнього і зовнішнього середовища КТЗ.

3. Для вирішення задач моніторингу інформаційна система має відповідну фізичну архітектуру, що включає штатні і додаткові системи КТЗ, які дозволяють здійснювати управління технічним станом та режимами руху КТЗ.

4. Функціонування інформаційної системи управління забезпечує інформаційна модель. Для формування цієї моделі використано метод діаграм потоків даних (DFD - Data Flow Diagram), що дозволив представити DFD-діаграму системи «КТЗ –Інфраструктура», яка описує інформаційний обмін між джерелами первинної інформації та засобами ідентифікацію, моніторинг параметрів, діагностування технічного стану КТЗ, оцінку умов експлуатації КТЗ.

5. На основі DFD-діаграми системи «КТЗ –Інфраструктура» розроблено її структуровану інформаційну модель, яка описує інформаційні потоки системи на телематичному та аналітичному рівнях, що дозволяє визначити придатність системи до забезпечення основних процесів експлуатації й управління КТЗ в залежності від окремих складних інформаційних функцій, що реалізуються в процесі експлуатації КТЗ.

6. Розроблена інформаційна модель дозволяє формувати масив поточних даних про параметри експлуатації КТЗ та здійснювати на основі цих даних прогнозування показників ефективності експлуатації на визначену кількість майбутніх періодів часу із застосуванням методів Data Mining. На основі отриманих поточних та прогнозованих параметрів інформаційна модель дозволяє здійснювати управління системою «КТЗ – Інфраструктура». З цією метою, інформаційна модель містить сукупність під моделей, які визначають положення КТЗ на шляху, маршрут та швидкість його руху, паливну економічність в заданих умовах руху з урахуванням температурного стану ЕУ КТЗ та коригування швидкості руху КТЗ в залежності від особливостей маршруту КТЗ, умов експлуатації і реалізованої морфологічної структури телематичного забезпечення.

РОЗДІЛ 4
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ СИСТЕМИ «КТЗ – ІНФРАСТРУКТУРА»

4.1 Структура математичної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

Відповідно до положень системного аналізу [53] математична модель системи повинна об'єднувати блок даних, в якому формуються вихідні дані для розрахунку основних показників системи, блок результатів, в якому визначено цільову функцію системи та блоки оптимізації й обмежень, в яких визначаються значення змінних параметрів за критерієм екстремуму цільової функції.

Виходячи із функціональної схеми системи «КТЗ – І» (рис. 2.2) у відповідності до загальної структури математичної моделі [53] було побудовано укрупнену структуру математичної моделі досліджуваної системи, показану на рис. 4.1.

Модель описує основні процеси системи. На рівні А представлено узагальнені математичні залежності, що описують процеси енергоустановки КТЗ. Вхідними даними є параметри навколишнього середовища p_0, T_0, функціональна залежність поданої в ЕУ енергії від частоти обертання вихідного валу та ступеня навантаження $E_{вих} = f(n_д, E_{нав})$, блок постійних параметрів КТЗ $A_i = \{u_0, C_x, F, r_д, \eta_{тр}\}$, повна маса M_A та маса спорядженого КТЗ M_0, початкові температури охолоджуючої рідини двигуна $t_{e\ p}$ та каталітичного нейтралізатора $t_{k\ p}$. Робочий процес енергоустановки описано у вигляді функціональної залежності крутного моменту від швидкісного, навантажувального та теплового режиму, кількості поданої енергії, витрат енергії на забезпечення роботи системи підтримання теплового стану двигуна і нейтралізатора $M_e(M_i) = f(n_д, E_{нав}, E_{вих}, t_e, n_{TA})$. Частота обертання вихідного валу двигуна представлена залежністю $n_д = f(V_a, u_i, u_0)$. На виході рівня А визначені питомі витрати енергії та викиди ШР енергоустановкою залежностями $g_e = f(E_{вих}, M_e(M_i), n_д)$, $g_i = f(G_i, M_e(M_i), n_д, E_i(t_k))$, які описують ці показники як функції від абсолютних витрат енергії і викидів ШР, крутного моменту та частоти обертання вихідного валу, ефективності роботи нейтралізатора.

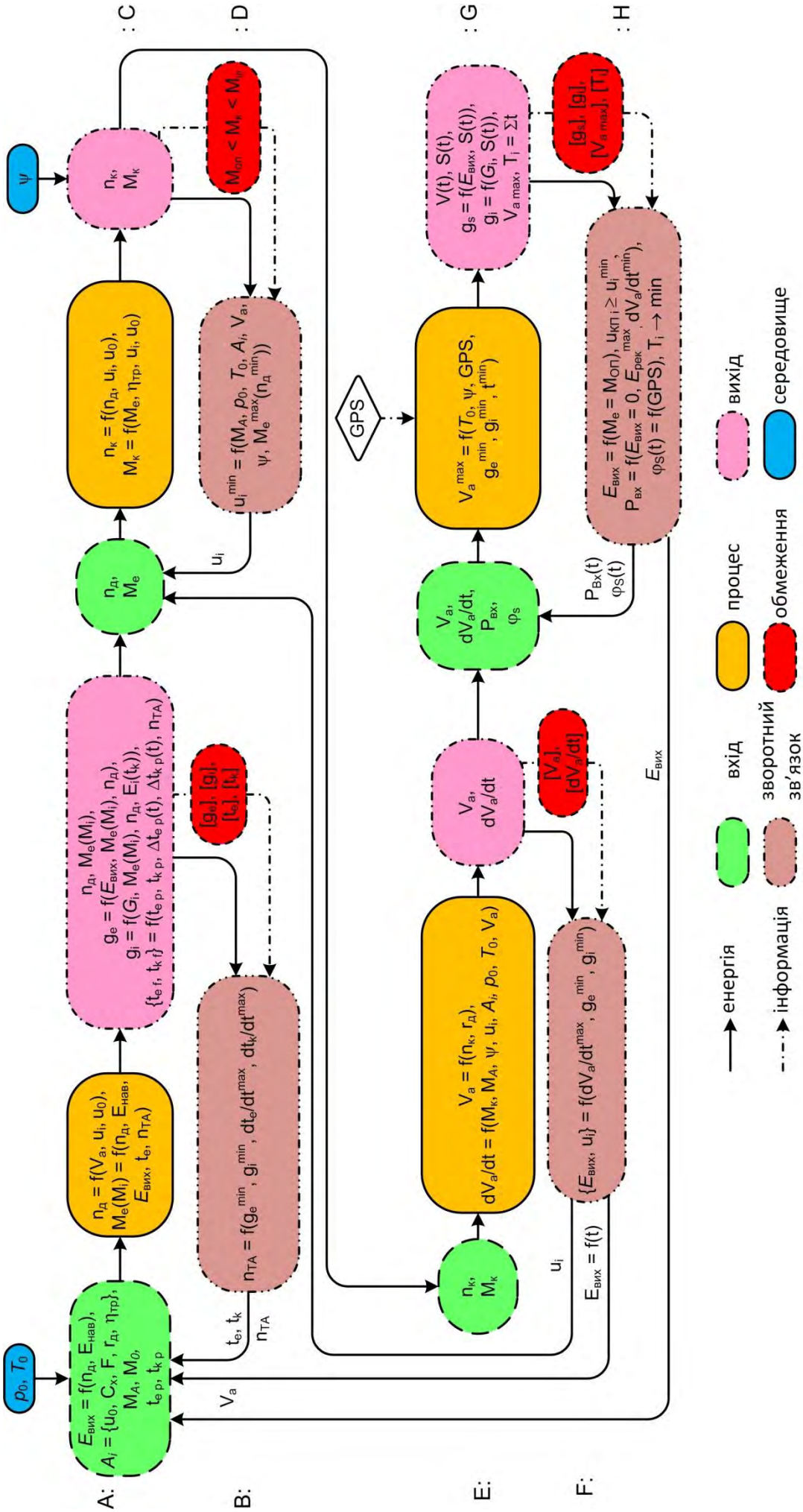


Рисунок 4.1 – Укрупнена структура математичної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

Кінцеві значення температур охолоджуючої рідини двигуна $t_{e\ f}$ та каталітичного нейтралізатора $t_{k\,f}$ описано в залежності від часових функцій зміни цих температур, інтенсивності роботи системи забезпечення теплового стану $\{t_{e\,f}, t_{k\,f}\} = f(t_{e\,p}, t_{k\,p}, \Delta t_{e\,p}(t), \Delta t_{k\,p}(t), n_{TA})$. На основі отриманих значень питомих витрати енергії та викидів ШР, інтенсивностей зростання температур охолоджуючої рідини двигуна та каталітичного нейтралізатора сформовано цільову функцію управління інтенсивністю роботи системи забезпечення теплового стану, яка представлена на рівні В у вигляді $n_{TA} = f(g_e^{min}, g_i^{min}, dt_e/dt^{max}, dt_k/dt^{max})$.

На рівні С описано процеси, що відбуваються в трансмісії КТЗ. Вхідними параметрами є значення крутного моменту і частоти обертання вихідного валу двигуна $n_д$, M_e. Робочий процес описано залежностями крутного моменту і частоти обертання ведучих коліс КТЗ від вхідних параметрів рівня С, передаточних чисел елементів та к.к.д. трансмісії $M_к = f(M_e, \eta_{тр}, u_i, u_0)$, $n_к = f(n_д, u_i, u_0)$. Визначення мінімального передаточного числа коробки передач здійснюється на рівні D за допомогою цільової функції, що описує мінімально необхідне значення передаточного числа в залежності від параметрів навколишнього середовища, сталих параметрів КТЗ, швидкості, коефіцієнту дорожнього опору, крутного моменту і частоти обертання вихідного валу двигуна у вигляді $u_i^{min} = f(M_A, p_0, T_0, A_i, V_a, \psi, M_e^{max}(n_д^{min}))$.

Рівень Е описує процеси, що протікають у ходовій частині КТЗ під час розгону до заданої швидкості. Вхідними параметрами є значення крутного моменту і частоти обертання ведучих коліс $M_к$, $n_к$. В залежності від цих параметрів, а також параметрів колеса, маси КТЗ, коефіцієнту дорожнього опору, передаточного числа трансмісії, сталих параметрів КТЗ, параметрів навколишнього середовища та швидкості, визначаються поточна швидкість і прискорення КТЗ $V_a = f(n_к, r_к)$, $dV_a/dt = f(M_к, M_A, \psi, u_i, A_i, p_0, T_0, V_a)$. Управління процесом прискорення КТЗ описано на рівні F за допомогою цільової функції $\{E_{вих}, u_i\} = f(dV_a/dt^{max}, g_e^{min}, g_i^{min})$, яка забезпечує управління рівнем поданої енергії в ЕУ та передаточним числом коробки передач за умови максимального прискорення і мінімальних викидів ШР та витрати енергії.

Рівень G описує процес взаємодії колісного рушія КТЗ з інфраструктурним середовищем. Вхідними даними є швидкість і прискорення КТЗ, вхідне зусилля управління гальмівною системою, положення виконавчого пристрою кермового управління. Процес взаємодії описано цільовою функцією значення максимально можливої швидкості КТЗ в даних інфраструктурних умовах в залежності від температури повітря, коефіцієнту дорожнього опору, координат GPS, мінімальних значень витрати енергії, викидів ШР, часу руху у вигляді $V_a^{max} = f(T_0, \psi, GPS, g_e^{min}, g_i^{min}, t^{min})$. Вихідними даними є часові залежності швидкості V(t), пройденого шляху S(t), витрати енергії $g_s = f(E_{вих}, S(t))$, викидів ШР $g_i = f(G_i, S(t))$. Управління енергоустановкою, трансмісією, гальмівною системою та кермовим керуванням описано на рівні H. Управління ЕУ та трансмісією виконується за умов $E_{вих} = f(M_e = M_{ОП})$, $u_{КП\,i} \geq u_i^{min}$. Цільова функція управління гальмівною системою представлена в залежності від ступеня рекуперації енергії гальмівною системою, сповільнення КТЗ у вигляді $P_{вх} = f(E_{вих} = 0, E_{рек}^{max}, dV_a/dt^{min})$. Функція кермового керування представлена у вигляді $\varphi_S(t) = f(GPS)$.

4.2 Моделювання процесів підсистеми «Енергоустановка» (рівень А)

Загальний алгоритм моделювання процесів енергоустановки КТЗ представлено на рис. 4.2. Вхідними параметрами є частота обертання вихідного валу $n_д$ та положення важеля управління енергоустановкою $\varphi_{упр}$. Як функція цих двох параметрів визначається параметр навантаження двигуна $E_{нав} = f\left(n_д, \varphi_{упр}\right)$. При цьому відкриття дросельної заслінки здійснюється зміною положення важеля управління $\varphi_{упр}$ (бензинові і газові ДВЗ з іскровим запалюванням). Зауважимо, що у якості параметра навантаження у ДВЗ з іскровим запалюванням, може бути визначено абсолютний тиск у впускному колекторі p_k.

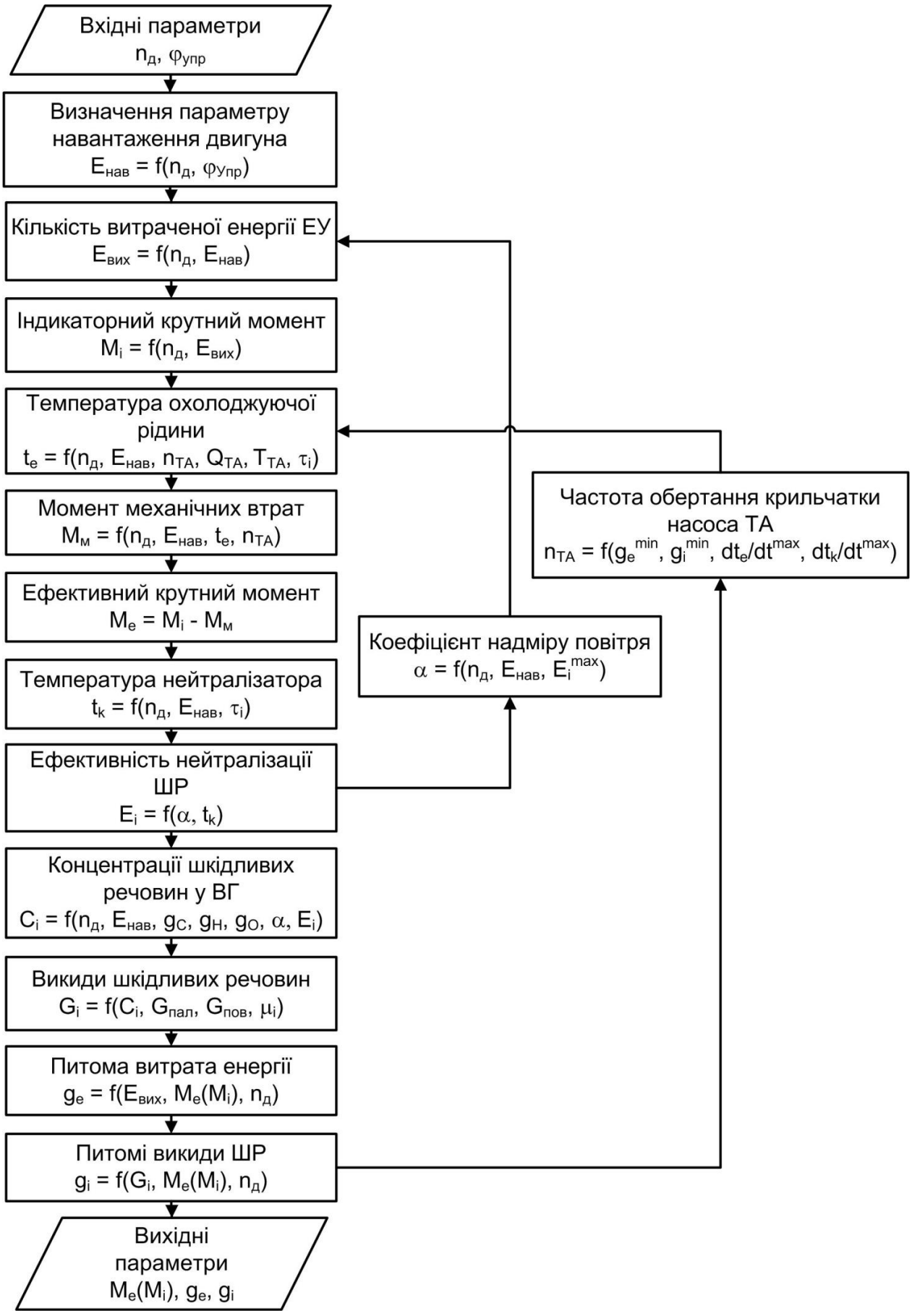


Рисунок 4.2 – Загальний алгоритм моделювання процесів енергоустановки

Залежності абсолютного тиску у впускному колекторі визначаються поліноміальними емпіричними залежностями 4-го і 5-го ступенів виду, отриманими в результаті проведення експериментальних досліджень:

$$p_k = a_1 \cdot n_д \cdot \varphi_{др}{}^3 + a_2 \cdot \varphi_{др}{}^4 + a_3 \cdot \varphi_{др}{}^3 + a_4 \cdot \varphi_{др}{}^2 + a_5 \cdot n_д \cdot \varphi_{др}{}^2 + a_6 \cdot n_д{}^2 \cdot \varphi_{др}{}^2 + a_7 \cdot \varphi_{др} + a_8 \cdot n_д \cdot \varphi_{др} + a_9 \cdot n_д{}^2 \cdot \varphi_{др} + a_{10} \cdot n_д{}^3 \cdot \varphi_{др} + a_{11} + a_{12} \cdot n_д + a_{13} \cdot n_д{}^2 + a_{14} \cdot n_д{}^3 + a_{15} \cdot n_д{}^4, \quad (4.1)$$

$$p_k = a_1 \cdot n_д \cdot \varphi_{др}{}^4 + a_2 \cdot \varphi_{др}{}^5 + a_3 \cdot \varphi_{др}{}^4 + a_4 \cdot \varphi_{др}{}^3 + a_5 \cdot n_д \cdot \varphi_{др}{}^3 + a_6 \cdot n_д{}^2 \cdot \varphi_{др}{}^3 + a_7 \cdot \varphi_{др}{}^2 + a_8 \cdot n_д \cdot \varphi_{др}{}^2 + a_9 \cdot n_д{}^2 \cdot \varphi_{др}{}^2 + a_{10} \cdot n_д{}^3 \cdot \varphi_{др}{}^2 + a_{11} \cdot \varphi_{др} + a_{12} \cdot n_д \cdot \varphi_{др} + a_{13} \cdot n_д{}^2 \cdot \varphi_{др} + a_{14} \cdot n_д{}^3 \cdot \varphi_{др} + a_{15} \cdot n_д{}^4 \cdot \varphi_{др} + a_{16} + a_{17} \cdot n_д + a_{18} \cdot n_д{}^2 + a_{19} \cdot n_д{}^3 + a_{20} \cdot n_д{}^4 + a_{21} \cdot n_д{}^5. \quad (4.2)$$

Значення коефіцієнтів a_i поліноміальних залежностей для двигунів об'єктів дослідження, під час використання різних палив, наведено в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей 5-го ступеня абсолютного тиску p_k у впускному колекторі двигуна автомобіля KIA CEED

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
бензин	$4.655 \cdot 10^{-6}$	$4.124 \cdot 10^{-4}$	-0.151	19.34	$4.432 \cdot 10^{-5}$	$-1.416 \cdot 10^{-7}$	$-1.078 \cdot 10^{3}$
ЗНГ	$5.282 \cdot 10^{-6}$	$3.673 \cdot 10^{-4}$	-0.14	18.524	$-2.452 \cdot 10^{-4}$	$-1.24 \cdot 10^{-7}$	$-1.069 \cdot 10^{3}$
	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
бензин	-0.114	$2.151 \cdot 10^{-5}$	$5.271 \cdot 10^{-10}$	$2.511 \cdot 10^{4}$	8.855	$-1.168 \cdot 10^{-3}$	$-4.06 \cdot 10^{-9}$
ЗНГ	-0.081	$1.957 \cdot 10^{-5}$	$4.263 \cdot 10^{-10}$	$2.564 \cdot 10^{4}$	7.779	$-1.244 \cdot 10^{-3}$	$2.605 \cdot 10^{-8}$
	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	a_{21}
бензин	$-5.207 \cdot 10^{-12}$	$-8.491 \cdot 10^{4}$	-171.333	$8.234 \cdot 10^{-3}$	$3.877 \cdot 10^{-6}$	$-6.306 \cdot 10^{-10}$	$5.832 \cdot 10^{-14}$
ЗНГ	$-6.242 \cdot 10^{-12}$	$-8.082 \cdot 10^{4}$	-182.655	0.023	$2.727 \cdot 10^{-7}$	$-2.669 \cdot 10^{-10}$	$4.262 \cdot 10^{-14}$

Коефіцієнти цих поліноміальних залежностей та інших, що використовуються в алгоритмі (рис. 4.2) отримано з використанням спеціально складеної програми у середовищі Mathcad на основі вбудованого ітераційного алгоритму, заснованому на методі найменших квадратів.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей 4-го ступеня абсолютного тиску p_k у впускному колекторі двигуна автомобіля ВАЗ-21101

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
бензин	$9.845 \cdot 10^{-5}$	-0.021	5.13	-425.723	-0.033	$1.03 \cdot 10^{-6}$	$1.353 \cdot 10^{4}$	3.015
Е-40	$1.28 \cdot 10^{-4}$	-0.023	5.481	-441.417	-0.039	$1.07 \cdot 10^{-6}$	$1.36 \cdot 10^{4}$	3.311
	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	
бензин	$-1.159 \cdot 10^{-4}$	$-1.496 \cdot 10^{-9}$	$-2.632 \cdot 10^{4}$	-81.658	$4.038 \cdot 10^{-3}$	$-2.578 \cdot 10^{-7}$	$2.536 \cdot 10^{-11}$	
Е-40	$-1.09 \cdot 10^{-4}$	$-2.28 \cdot 10^{-9}$	$-2.64 \cdot 10^{4}$	-83.606	$3.19 \cdot 10^{-3}$	$-1.95 \cdot 10^{-7}$	$2.56 \cdot 10^{-11}$	

Текст програми та приклади визначення коефіцієнтів приведено в додатку Б. Програма також враховує дані планування факторного експерименту та містить параметри перевірки адекватності вказаних залежностей за критерієм Фішера [120-123]. Ці виміряні значення досліджуваного параметру, у точці плану експерименту із середніми значеннями незалежних факторів, дозволяють визначити дисперсію досліду. Дисперсія адекватності розраховується за експериментальними і розрахованими значеннями досліджуваного параметра в усіх точках плану експерименту. Значення критерію Фішера, визначене шляхом ділення більшого серед двох дисперсій (досліду й адекватності) значення на менше, порівнюються з табличними для рівня значущості 0,05 [123].

Приклад графічної залежності абсолютного тиску у впускному колекторі, визначеної за допомогою поліноміальної моделі, та відповідні точки експериментальних даних представлено на рис. 4.3. Наведена залежність показує, що збіжність розрахункових й експериментальних значень абсолютного тиску у впускному колекторі в залежності від частоти обертання і положення дросельної заслінки мають достатній ступінь збіжності, що дозволяє використовувати розроблені поліноміальні залежності у пропонованій математичній моделі.

Кількість витраченої енергії двигуном в залежності від швидкісного і навантажувального режиму роботи $E_{вих} = f(n_д, E_{нав})$ базується на залежностях витрати повітря $G_{\text{пов}}$ в цьому режимі, коефіцієнту надміру повітря α, що визначається системою управління двигуном та впливає на кількість витраченого палива $G_{\text{пал}}$, і теплоти згоряння палива $h_{\text{н}}$.

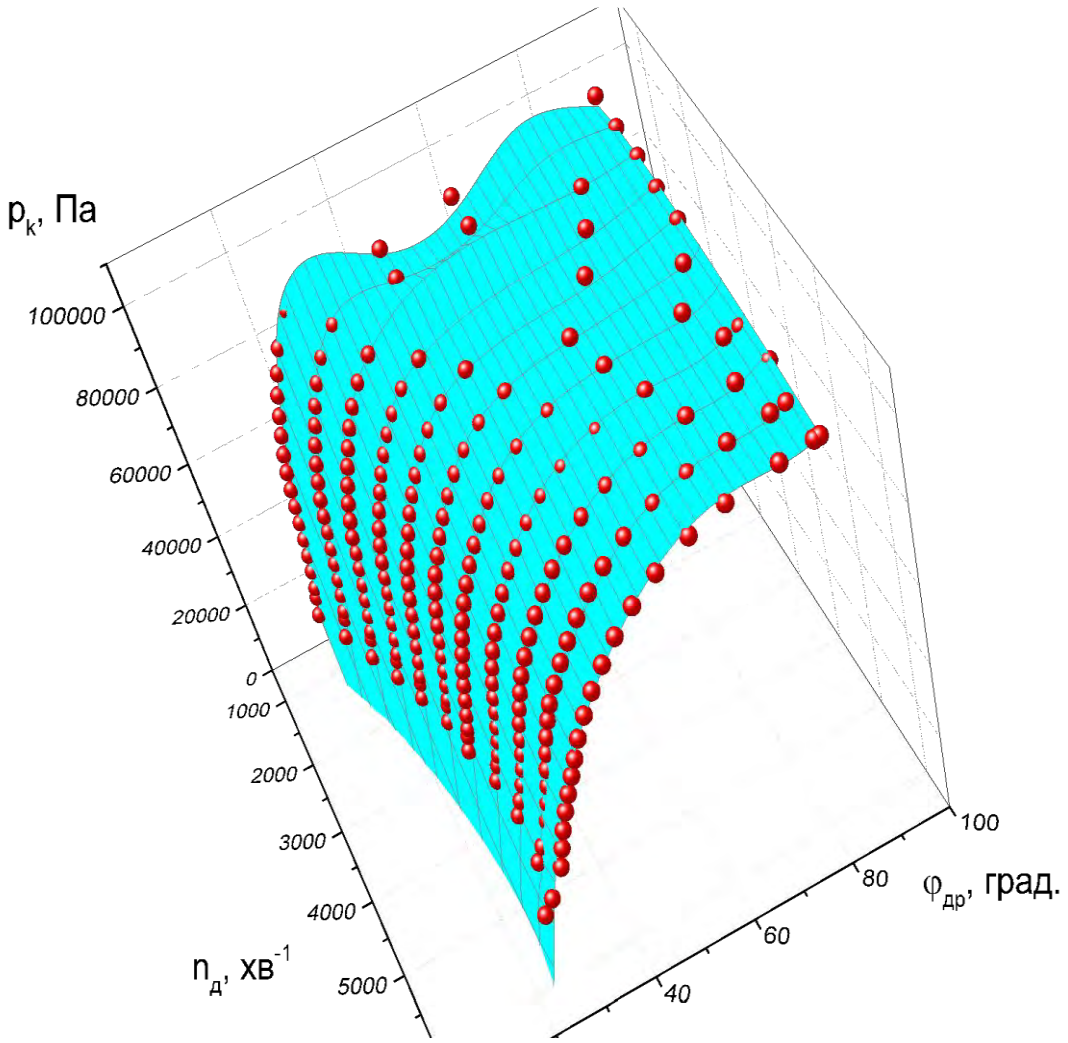


Рисунок 4.3 – Залежність абсолютного тиску у впускному колекторі двигуна автомобіля KIA CEED при живленні бензином

Залежності витрати повітря $G_{\text{пов}}$ двигуном в залежності від частоти обертання і навантаження описуються поліноміальними залежностями 3-го ступеня виду:

$$G_{\text{пов}} = a_1 \cdot n_{\text{д}} \cdot {p_k}^2 + a_2 \cdot {p_k}^3 + a_3 \cdot {p_k}^2 + a_4 \cdot p_k + a_5 \cdot n_{\text{д}} \cdot p_k + a_6 \cdot {n_{\text{д}}}^2 \cdot p_k + a_7 + a_8 \cdot n_{\text{д}} + a_9 \cdot {n_{\text{д}}}^2 + a_{10} \cdot {n_{\text{д}}}^3. \quad (4.3)$$

Значення коефіцієнтів a_i поліноміальних залежностей для двигунів об’єктів дослідження під час використання різних палив наведено в табл. 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей витрати повітря $G_{\text{пов}}$ двигуна автомобіля KIA CEED

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
бензин	$2.42 \cdot 10^{-12}$	$6.30 \cdot 10^{-15}$	$-7.33 \cdot 10^{-9}$	$8.13 \cdot 10^{-4}$	$3.55 \cdot 10^{-7}$
ЗНГ	$2.08 \cdot 10^{-12}$	$-2.61 \cdot 10^{-14}$	$-1.28 \cdot 10^{-9}$	$4.47 \cdot 10^{-4}$	$3.96 \cdot 10^{-7}$
	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
бензин	$2.56 \cdot 10^{-11}$	-15.554	$3.40 \cdot 10^{-3}$	$7.91 \cdot 10^{-7}$	$-2.67 \cdot 10^{-10}$
ЗНГ	$2.19 \cdot 10^{-11}$	-5.106	$-3.08 \cdot 10^{-3}$	$2.48 \cdot 10^{-6}$	$-4.14 \cdot 10^{-10}$

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей витрати повітря $G_{\text{пов}}$ двигуна автомобіля ВАЗ-21101

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
бензин	$1.97 \cdot 10^{-12}$	$-4.97 \cdot 10^{-15}$	$-4.49 \cdot 10^{-9}$	$5.65 \cdot 10^{-4}$	$2.80 \cdot 10^{-7}$
Е-40	$2.18 \cdot 10^{-12}$	0	$-5.71 \cdot 10^{-9}$	$6.98 \cdot 10^{-4}$	$2.24 \cdot 10^{-7}$
	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
бензин	$1.50 \cdot 10^{-11}$	-3.122	$-5.31 \cdot 10^{-3}$	$3.04 \cdot 10^{-6}$	$-3.39 \cdot 10^{-10}$
Е-40	$1.96 \cdot 10^{-11}$	-9.365	$-3.93 \cdot 10^{-4}$	$1.91 \cdot 10^{-6}$	$-2.58 \cdot 10^{-10}$

Приклад графічної залежності витрати повітря, визначеної за допомогою поліноміальної моделі, та відповідні точки експериментальних даних представлено на рис. 4.4.

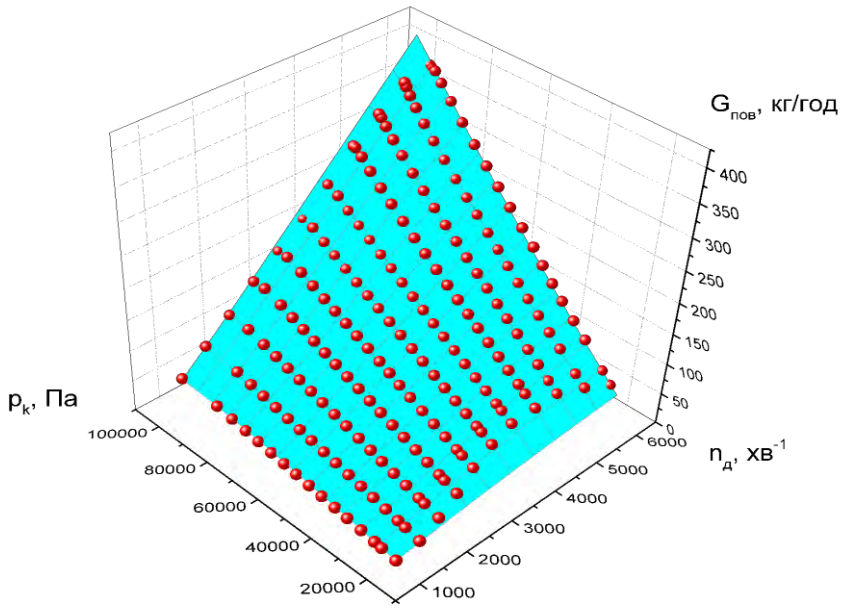


Рисунок 4.4 – Залежність витрати повітря двигуна автомобіля KIA CEED при живленні ЗНГ

Тоді, витрата енергії ЕУ, МДж/год:

$$E_{\text{вих}} = \frac{G_{\text{пов}}}{\alpha} \cdot \frac{h_{\text{н}}}{l_0}, \tag{4.4}$$

де l_0 – теоретично необхідні кількість повітря для згоряння 1 кг палива, кг/кг.

Для бензину приймаємо $l_0 = 14.8$ кг/кг, для ЗНГ - $l_0 = 15.55$ кг/кг, для палива Е-40 (суміші бензину з 40 % етанолу) - $l_0 = 12.78$ кг/кг [124, 125].

Нижча теплота згоряння: для бензину $h_{\text{н}} = 44$ МДж/кг, для ЗНГ - $h_{\text{н}} = 43.4$ МДж/кг, для палива Е-40 - $h_{\text{н}} = 37.8$ МДж/кг [124, 125].

Однак, витрата енергії буде пропорційно збільшуватись зі збільшенням частоти обертання, що буде призводити до значної похибки під час апроксимації даних. У цьому випадку для визначення залежності індикаторного крутного моменту $M_i = f(n_д, E_{вих})$ від швидкісного режиму роботи двигуна і витраченої енергії з паливом [207] доцільно використовувати показник циклової витрати палива $g_{\text{ц}}$.

Циклова витрата палива двигуном, мг/цикл:

$$g_{\text{ц}} = \frac{G_{\text{пов}} \cdot 10^6}{30 \cdot \alpha \cdot l_0 \cdot i_{\text{ц}} \cdot n_{\text{д}}}, \tag{4.5}$$

де $i_{\text{ц}}$ – число циліндрів двигуна.

Значення індикаторного крутного моменту M_i описується поліноміальною залежністю 3-го ступеня виду:

$$M_i = a_1 \cdot n_{\text{д}} \cdot {g_{\text{ц}}}^2 + a_2 \cdot {g_{\text{ц}}}^3 + a_3 \cdot {g_{\text{ц}}}^2 + a_4 \cdot g_{\text{ц}} + a_5 \cdot n_{\text{д}} \cdot g_{\text{ц}} + a_6 \cdot {n_{\text{д}}}^2 \cdot g_{\text{ц}} + a_7 + a_8 \cdot n_{\text{д}} + a_9 \cdot {n_{\text{д}}}^2 + a_{10} \cdot {n_{\text{д}}}^3. \tag{4.6}$$

Значення коефіцієнтів a_i поліноміальних залежностей для двигунів об’єктів дослідження під час використання різних палив наведено в табл. 4.5 та 4.6.

Таблиця 4.5 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей індикаторного крутного моменту M_i двигуна автомобіля KIA CEED

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
бензин	$1.39 \cdot 10^{-5}$	$3.11 \cdot 10^{-4}$	-0.071	7.416	$2.28 \cdot 10^{-4}$
ЗНГ	$1.85 \cdot 10^{-5}$	$5.08 \cdot 10^{-4}$	-0.1	7.862	$2.42 \cdot 10^{-4}$
	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
бензин	$-1.18 \cdot 10^{-7}$	-13.009	$-5.73 \cdot 10^{-3}$	$3.23 \cdot 10^{-6}$	$-3.00 \cdot 10^{-10}$
ЗНГ	$-1.38 \cdot 10^{-7}$	-17.393	$-2.58 \cdot 10^{-3}$	$1.94 \cdot 10^{-6}$	$-1.39 \cdot 10^{-10}$

Таблиця 4.6 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей індикаторного крутного моменту M_i двигуна автомобіля ВАЗ-21101

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
бензин	$1.80 \cdot 10^{-5}$	$8.69 \cdot 10^{-4}$	-0.1	7.004	$4.08 \cdot 10^{-4}$
Е-40	$1.26 \cdot 10^{-5}$	$5.96 \cdot 10^{-4}$	-0.074	5.915	$3.31 \cdot 10^{-4}$
	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
бензин	$-1.34 \cdot 10^{-7}$	0.583	$-1.10 \cdot 10^{-2}$	$4.05 \cdot 10^{-6}$	$-3.68 \cdot 10^{-10}$
Е-40	$-1.10 \cdot 10^{-7}$	0.707	$-1.00 \cdot 10^{-2}$	$4.00 \cdot 10^{-6}$	$-3.66 \cdot 10^{-10}$

Приклад графічної залежності індикаторного крутного моменту, визначеної за допомогою поліноміальної моделі, та відповідні точки експериментальних даних представлено на рис. 4.5.

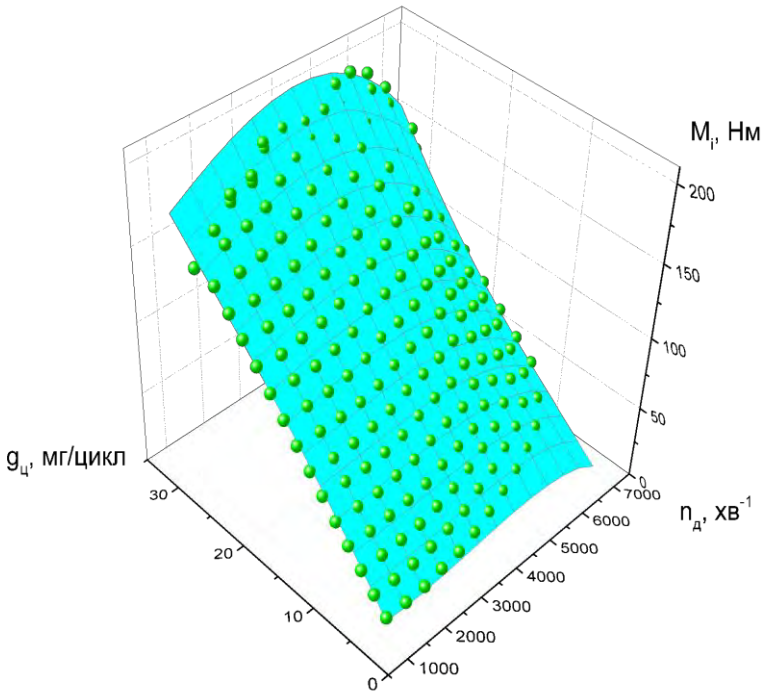


Рисунок 4.5 – Залежність індикаторного крутного моменту двигуна автомобіля ВАЗ-21101 при живленні бензином

Момент механічних втрат, окрім швидкісного та навантажувального режиму роботи двигуна, залежить також і від тертя в кінематичних парах основних механізмів двигуна [126-128], величина якого, в свою чергу, залежить від в'язкості оливи, визначеної температурним станом двигуна. Крім того, при використанні засобів теплової підготовки двигуна до механічних втрат також додаються втрати на привод додаткового насосу, що забезпечує циркуляцію робочого тіла теплового акумулятора (або робочої рідини з системи мащення або охолодження двигуна) для передачі накопиченої теплової енергії до систем двигуна. У загальному випадку залежність механічних втрат двигуна має вигляд $M_м = f(n_д, E_{нав}, t_e, n_{TA})$. Ця залежність може бути визначена поліномом 3-го ступеня виду:

$$M_M = \left(a_1 \cdot n_д \cdot {t_e}^2 + a_2 \cdot p_k \cdot {t_e}^2 + a_3 \cdot {t_e}^3 + a_4 \cdot {t_e}^2 + a_5 \cdot n_д \cdot p_k \cdot t_e + a_6 \cdot {p_k}^2 \cdot t_e + a_7 \cdot p_k \cdot t_e + a_8 \cdot t_e + a_9 \cdot n_д \cdot t_e + a_{10} \cdot {n_д}^2 \cdot t_e + a_{11} \cdot n_д \cdot {p_k}^2 + a_{12} \cdot {p_k}^3 + a_{13} \cdot {p_k}^2 + a_{14} \cdot p_k + a_{15} \cdot n_д \cdot p_k + a_{16} \cdot {n_д}^2 \cdot p_k + a_{17} + a_{18} \cdot n_д + a_{19} \cdot {n_д}^2 + a_{20} \cdot {n_д}^3\right) + M_{TA}. \quad (4.7)$$

Значення поліноміальних коефіцієнтів залежностей моменту механічних втрат, визначених для двигунів об'єктів досліджень при живленні різними видами палив, приведено в табл. 4.7, 4.8.

Таблиця 4.7 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей моменту механічних втрат двигуна автомобіля KIA CEED

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
бензин	$8.04 \cdot 10^{-8}$	$8.41 \cdot 10^{-9}$	$-1.17 \cdot 10^{-6}$	$5.85 \cdot 10^{-4}$	$-6.89 \cdot 10^{-11}$	$-4.90 \cdot 10^{-12}$	$-4.90 \cdot 10^{-6}$
ЗНГ	$1.38 \cdot 10^{-8}$	$3.31 \cdot 10^{-9}$	$-2.20 \cdot 10^{-6}$	$1.96 \cdot 10^{-3}$	$-4.46 \cdot 10^{-11}$	$-2.30 \cdot 10^{-12}$	$-2.01 \cdot 10^{-6}$
	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
бензин	-0.039	$-5.83 \cdot 10^{-5}$	$1.56 \cdot 10^{-9}$	$1.54 \cdot 10^{-12}$	$-1.51 \cdot 10^{-14}$	$1.27 \cdot 10^{-9}$	$1.07 \cdot 10^{-3}$
ЗНГ	-0.575	$-2.35 \cdot 10^{-5}$	$2.29 \cdot 10^{-9}$	$1.54 \cdot 10^{-12}$	$-2.59 \cdot 10^{-14}$	$2.10 \cdot 10^{-9}$	$5.51 \cdot 10^{-4}$
	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	
бензин	$-2.39 \cdot 10^{-7}$	$9.88 \cdot 10^{-12}$	10.421	0.013	$4.27 \cdot 10^{-6}$	$-7.43 \cdot 10^{-10}$	
ЗНГ	$-2.24 \cdot 10^{-7}$	$5.96 \cdot 10^{-12}$	77.417	$6.95 \cdot 10^{-3}$	$4.44 \cdot 10^{-6}$	$-7.66 \cdot 10^{-10}$	

Таблиця 4.8 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей моменту механічних втрат двигуна автомобіля ВАЗ-21101

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
бензин	$3.69 \cdot 10^{-7}$	$1.10 \cdot 10^{-8}$	$-1.88 \cdot 10^{-5}$	0.016	$1.31 \cdot 10^{-10}$	$-1.36 \cdot 10^{-12}$	$-6.42 \cdot 10^{-6}$
Е-40	$4.26E^{-7}$	$1.35 \cdot 10^{-8}$	$-1.48 \cdot 10^{-5}$	0.012	$1.32 \cdot 10^{-10}$	$-1.70 \cdot 10^{-12}$	$-8.02 \cdot 10^{-6}$
	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
бензин	-4.705	$-2.35 \cdot 10^{-4}$	$-3.37 \cdot 10^{-9}$	$3.17 \cdot 10^{-12}$	$4.77 \cdot 10^{-15}$	$-6.15 \cdot 10^{-9}$	$1.30 \cdot 10^{-3}$
Е-40	-3.318	$-2.90 \cdot 10^{-4}$	$-8.31 \cdot 10^{-10}$	$3.01 \cdot 10^{-12}$	$1.04 \cdot 10^{-14}$	$-6.81 \cdot 10^{-9}$	$1.63 \cdot 10^{-3}$
	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{20}	
бензин	$-1.35 \cdot 10^{-7}$	$-3.06 \cdot 10^{-11}$	467.468	0.031	$3.97 \cdot 10^{-6}$	$-6.42 \cdot 10^{-11}$	
Е-40	$-1.71 \cdot 10^{-7}$	$-2.39 \cdot 10^{-11}$	306.617	0.046	$2.27 \cdot 10^{-6}$	$-3.98 \cdot 10^{-12}$	

Приклад графічної залежності моменту механічних втрат, визначеної за допомогою поліноміальної моделі, без урахування витрат енергії на забезпечення роботи теплового акумулятора для температур охолоджуючої рідини -20°С та 90°С та точки експериментальних даних для температури 90°С, представлено на рис. 4.6.

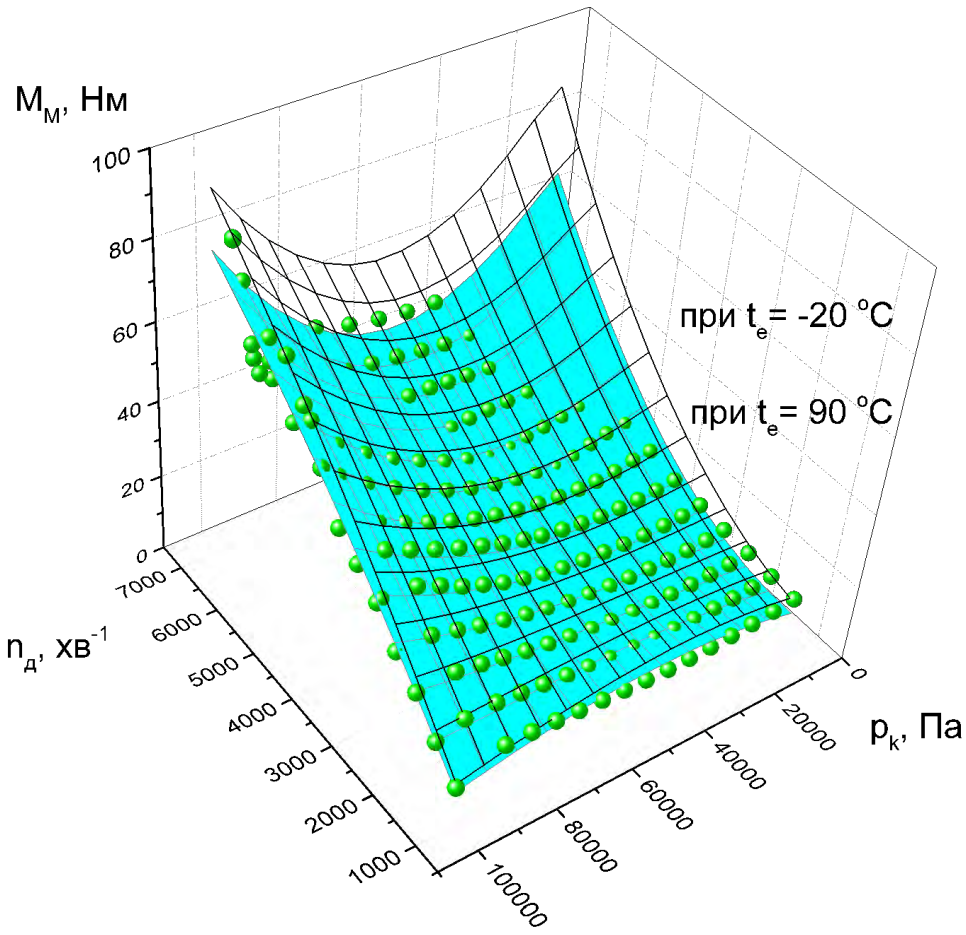


Рисунок 4.6 – Залежність моменту механічних втрат двигуна автомобіля ВАЗ-21101 при живленні паливом Е-40

Відповідно до [129-131], потужність, що необхідна для забезпечення роботи рідинного насосу, може бути визначена як, Вт:

$$N_{\text{н}} = \frac{V_{\text{р}} \cdot p_{\text{р}}}{\eta_{\text{н}}},$$

де $V_{\text{р}}$ – циркуляційна витрата рідини, м^3/с;

$p_{\text{р}}$ – тиск рідини, створюваний насосом, Па;

$\eta_{\text{н}}$ – механічний к.к.д. насоса, $\eta_{\text{н}} = 0{,}9$.

У випадку використання електричного приводу додаткового насосу теплового акумулятора охолоджуючої рідини, потужність, що відбирається від двигуна, кВт:

$$N_{\text{ТА}} = \frac{V_{\text{р}} \cdot p_{\text{ох}} \cdot 10^3}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ген}}}, \tag{4.8}$$

де $p_{\text{ох}}$ – тиск охолоджуючої рідини під час її прокачування через тепловий акумулятор, $p_{\text{ох}} = 0{,}05$ МПа;

$\eta_{\text{ген}}$ – к.к.д. автомобільного генератора, $\eta_{\text{ген}} = 0{,}7$ [130].

Найбільш поширені лопатеві насоси [208]. У цьому випадку, циркуляційні витрати охолоджуючої рідини через тепловий акумулятор будуть залежати від робочого об’єму насоса, що визначає об’єм рідини, який подається насосом за один оберт, та частоти обертання приводного валу $n_{\text{ТА}}$, м^3/с:

$$V_{\text{р}} = V_{\text{об}} \cdot \frac{\pi \cdot n_{\text{ТА}}}{30}, \tag{4.9}$$

де $V_{\text{об}}$ – об’ємна подача насосу, м^3/об. Для двигунів автомобілів категорії М1 достатню об’ємну подачу створюватиме насос із діаметром лопатей 100 мм. У такому випадку об’ємна подача буде складати $2{,}4 \cdot 10^{-5}$ м^3/об [129].

Момент втрат на колінчастому валу, створюваний додатковим насосом, Н·м:

$$M_{\text{ТА}} = \frac{N_{\text{ТА}} \cdot 9550}{n_{\text{д}}} = V_{\text{об}} \cdot \frac{\pi \cdot n_{\text{ТА}}}{30} \cdot \frac{p_{\text{ох}} \cdot 10^3}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ген}}} \cdot \frac{9550}{n_{\text{д}}} = 1{,}9 \cdot \frac{n_{\text{ТА}}}{n_{\text{д}}}. \qquad (4.10)$$

За відомими значеннями індикаторного крутного моменту та моменту механічних втрат двигуна визначається ефективний крутний момент $M_e = M_i - M_м$ [132].

Таким чином, циркуляційні витрати та момент механічних втрат, створюваний насосом, будуть визначатися частотою обертання приводного валу насоса даної конструкції. З іншого боку, циркуляційна витрата рідини буде залежати від необхідної інтенсивності зростання температури охолоджуючої рідини внаслідок використання теплового акумулятора для забезпечення мінімальної питомої витрати енергії та викидів шкідливих речовин.

В свою чергу значення температури охолоджуючої рідини в період прогріву буде залежати від інтенсивності теплових втрат під час робочого циклу в циліндрах двигуна, які залежать від режиму роботи двигуна, та інтенсивності підведення теплової енергії від теплового акумулятора. У загальному випадку, значення температури охолоджуючої рідини у період прогріву описується залежністю, К [59]:

$$t_e = T_0 + \int_0^{\tau_{\text{пр}}} \frac{(q_T + q_{TA})}{m_{\text{ох}} \cdot C_{\text{ох}}} d\tau, \qquad (4.11)$$

де T_0 – температура навколишнього середовища (початкова температура охолоджуючої рідини), К;

$\tau_{\text{пр}}$ – час прогріву двигуна до робочої температури 90 °С (363 К);

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

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

$m_{\text{ох}}$ – маса охолоджуючої рідини в системі, кг. $m_{\text{ох}} = 8$ кг;

$C_{\text{ох}}$ – теплоємність охолоджуючої рідини, Дж/(кг·К). $C_{\text{ох}} = 4187$ Дж/(кг·К).

Тепловий потік внаслідок втрат теплоти робочого тіла в циліндрі у охолоджуючу рідину, Вт:

$$q_T = \frac{q_{\text{ц}} \cdot n_{\text{д}} \cdot i_{\text{ц}}}{120}, \tag{4.12}$$

де $q_{\text{ц}}$ – кількість теплоти, втрачена від робочого тіла в циліндрі за один робочий цикл, Дж.

Кількість теплоти $q_{\text{ц}}$, втрачена від робочого тіла в циліндрі за один робочий цикл, була визначена за результатами обробки експериментальних даних зміни температури охолоджуючої рідини в різних режимах прогріву. Кількість теплоти $q_{\text{ц}}$ описується поліноміальною залежністю 3-го ступеня, що має вигляд:

$$q_{\text{ц}} = a_1 \cdot n_{\text{д}} \cdot {p_k}^2 + a_2 \cdot {p_k}^3 + a_3 \cdot {p_k}^2 + a_4 \cdot p_k + a_5 \cdot n_{\text{д}} \cdot p_k + a_6 \cdot {n_{\text{д}}}^2 \cdot p_k + a_7 + a_8 \cdot n_{\text{д}} + a_9 \cdot {n_{\text{д}}}^2 + a_{10} \cdot {n_{\text{д}}}^3. \tag{4.13}$$

Значення поліноміальних коефіцієнтів залежностей кількості теплоти робочого тіла, що втрачається протягом робочого циклу у стінки циліндра, визначених для двигунів об’єктів досліджень при живленні різними видами палив, приведено в табл. 4.9, 4.10.

Таблиця 4.9 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей кількості теплоти $q_{\text{ц}}$ двигуна автомобіля KIA CEED

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
бензин	$3.63 \cdot 10^{-12}$	$-3.05 \cdot 10^{-13}$	$4.13 \cdot 10^{-8}$	$8.79 \cdot 10^{-4}$	$-8.36 \cdot 10^{-7}$
ЗНГ	$4.03 \cdot 10^{-12}$	$-2.89 \cdot 10^{-13}$	$3.82 \cdot 10^{-8}$	$6.23 \cdot 10^{-4}$	$-7.03 \cdot 10^{-7}$
	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
бензин	$4.81 \cdot 10^{-11}$	126.366	-0.026	$9.29 \cdot 10^{-6}$	$-9.45 \cdot 10^{-10}$
ЗНГ	$2.45 \cdot 10^{-11}$	128.88	-0.029	$9.65 \cdot 10^{-6}$	$-8.97 \cdot 10^{-10}$

Таблиця 4.10 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей кількості теплоти $q_{\text{ц}}$ двигуна автомобіля ВАЗ-21101

Вид палива	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
бензин	$4.34 \cdot 10^{-12}$	$-6.76 \cdot 10^{-14}$	$-8.31 \cdot 10^{-9}$	$3.22 \cdot 10^{-3}$	$-5.71 \cdot 10^{-7}$
Е-40	$4.18 \cdot 10^{-12}$	$-6.01 \cdot 10^{-14}$	$-8.36 \cdot 10^{-9}$	$3.09 \cdot 10^{-3}$	$-5.75 \cdot 10^{-7}$
	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}
бензин	$-1.13 \cdot 10^{-12}$	52.969	-0.014	$3.60 \cdot 10^{-6}$	$-1.72 \cdot 10^{-10}$
Е-40	$2.40 \cdot 10^{-12}$	47.259	$-9.75 \cdot 10^{-3}$	$2.50 \cdot 10^{-6}$	$-9.02 \cdot 10^{-11}$

Приклад графічної залежності кількості теплоти $q_{\text{ц}}$, визначеної за допомогою поліноміальної моделі, та відповідні точки експериментальних даних, представлено на рис. 4.7.

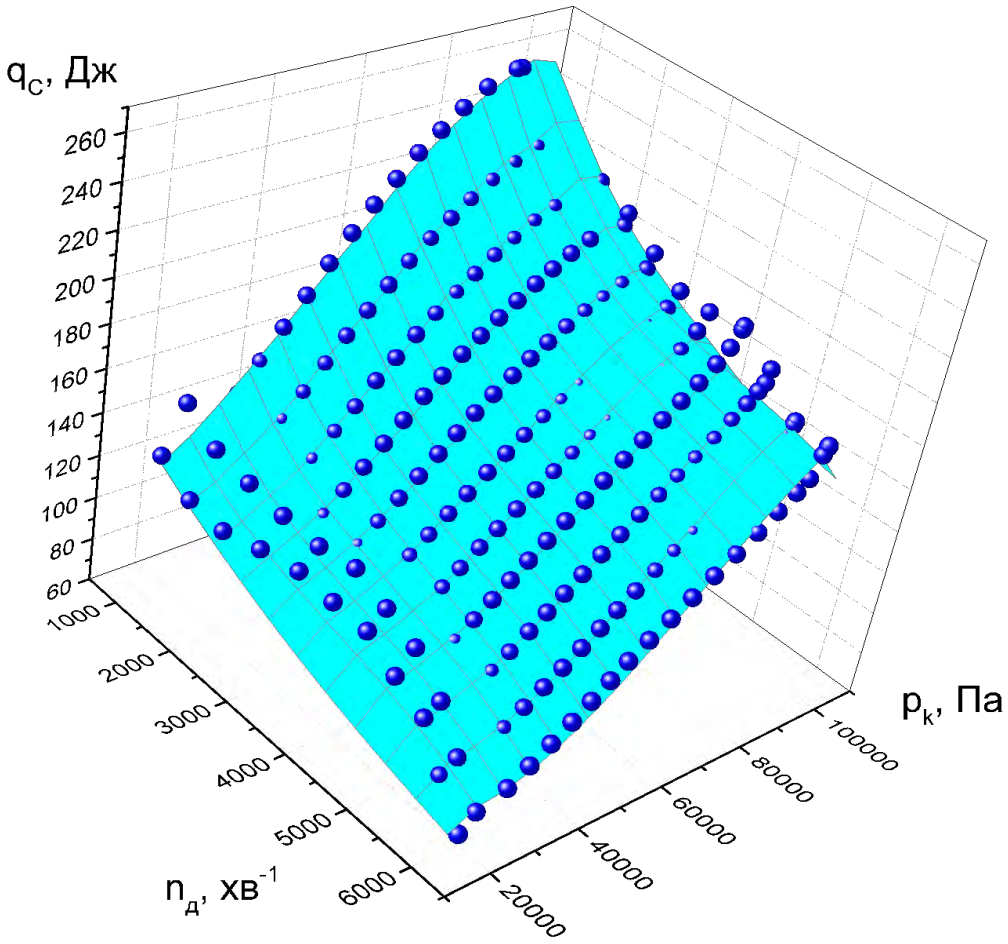


Рисунок 4.7 – Залежність втраченої у систему охолодження кількості теплоти двигуна автомобіля KIA CEED при живленні бензином

Тепловий потік q_{TA} внаслідок теплопереносу від теплового акумулятора до охолоджуючої рідини визначається із залежності, Вт:

$$q_{TA} = \alpha_{\text{ТА}} \cdot F_{\text{ТА}} \cdot (T_{\text{ТА}} - t_e), \tag{4.14}$$

де $\alpha_{\text{ТА}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від стінок теплообмінника теплового акумулятора до охолоджуючої рідини, Вт/(м^2·К);

$F_{\text{ТА}}$ – площа поверхні стінок теплообмінника теплового акумулятора, що контактує з охолоджуючою рідиною, м^2;

$T_{\text{ТА}}$ – температура стінок теплового акумулятора, що визначається температурою фазового переходу теплоакумулюючого матеріалу, К.

У якості теплоакумулюючого матеріалу використовується гідрохінон $C_6H_4(OH)_2$ з температурою фазового переходу 445 К [132].

Для визначення коефіцієнту тепловіддачі використовується теорія подібності [132, 133, 206], що враховує фізичні властивості і режим руху теплоносія.

Фізичні властивості характеризує критерій Прандтля:

$$Pr = \frac{\rho_{\text{ох}} \cdot \nu_{\text{ох}} \cdot C_{\text{ох}}}{\lambda_{\text{ох}}}, \tag{4.15}$$

де $\rho_{\text{ох}}$ – густина охолоджуючої рідини, $\rho_{\text{ох}} = 1030$ кг/м^3 [134];

$\nu_{\text{ох}}$ – кінематична в’язкість охолоджуючої рідини, $\nu_{\text{ох}} = 1{,}9 \cdot 10^{-6}$ м^2/с;

$\lambda_{\text{ох}}$ – теплопровідність охолоджуючої рідини, $\lambda_{\text{ох}} = 0{,}53$ Вт/(м·К).

Режим руху характеризує критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_{\text{ох}} \cdot d_{\text{ТА}}}{\nu_{\text{ох}}} = \frac{4 \cdot V_{\text{р}}}{\pi \cdot d_{\text{ТА}} \cdot \nu_{\text{ох}}}, \tag{4.16}$$

де $w_{\text{ох}}$ – швидкість руху охолоджуючої рідини через тепловий акумулятор, м/с;

$d_{\text{ТА}}$ – діаметр каналу у тепловому акумуляторі, через який прокачується охолоджуюча рідина, м.

Критерій Нуссельта, що характеризує характер теплообміну, визначається в залежності від отриманих значень інших критеріїв:

$$Nu = \begin{cases} 3.66, Re \leq 2300 \\ (-6.55 + 0.0046 \cdot Re) \cdot Pr^{0.4}, 2300 < Re \leq 5000 \\ (-3 + 0.0039 \cdot Re) \cdot Pr^{0.4}, 5000 < Re \leq 10000 \\ 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}, \ \ Re > 10000 \end{cases}. \quad (4.17)$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі визначається як:

$$\alpha_{\text{ТА}} = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{ох}}}{d_{\text{ТА}}}. \quad (4.18)$$

Площа поверхні стінок теплообмінника теплового акумулятора, що контактує з охолоджуючою рідиною, м^2:

$$F_{\text{ТА}} = \frac{\pi \cdot {d_{\text{ТА}}}^2}{4} \cdot l_{\text{ТА}}, \quad (4.19)$$

де $l_{\text{ТА}}$ – довжина каналу у тепловому акумуляторі, через який прокачується охолоджуюча рідина, м.

Концентрації шкідливих речовин у ВГ залежить від режиму роботи двигуна, його типу, виду використовуваного палива та складу паливоповітряної суміші [135-140] та визначаються у ВГ, необроблених у каталітичному нейтралізаторі. Концентрації основних шкідливих компонентів у ВГ описуються для кожного типу двигуна і виду використаного палива поліноміальними залежностями виду:

$$C_i = \left(a_1 \cdot n_{\text{д}} \cdot {p_k}^2 + a_2 \cdot {p_k}^3 + a_3 \cdot {p_k}^2 + a_4 \cdot p_k + a_5 \cdot n_{\text{д}} \cdot p_k + a_6 \cdot {n_{\text{д}}}^2 \cdot p_k + a_7 + a_8 \cdot n_{\text{д}} + a_9 \cdot {n_{\text{д}}}^2 + a_{10} \cdot {n_{\text{д}}}^3\right) \cdot k_\alpha^i, \quad (4.20)$$

де k_α^i – коефіцієнт, що враховує вплив складу суміші на концентрації.

Значення поліноміальних коефіцієнтів залежностей концентрацій шкідливих речовин, визначених для двигунів об'єктів досліджень при живленні різними видами палив, приведено в табл. 4.11–4.14.

Таблиця 4.11 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей концентрацій шкідливих речовин у ВГ двигуна автомобіля KIA CEED при роботі на бензині

	C_{CO}, %	$C_{C_mH_n}$, млн$^{-1}$	C_{NO_x}, млн$^{-1}$	C_{CO_2}, %
a_1	$-4.56\cdot10^{-13}$	$-1.12\cdot10^{-10}$	$2.67\cdot10^{-11}$	$-1.69\cdot10^{-13}$
a_2	$1.83\cdot10^{-14}$	$8.76\cdot10^{-12}$	$-2.40\cdot10^{-12}$	$2.01\cdot10^{-14}$
a_3	$-1.28\cdot10^{-9}$	$-9.20\cdot10^{-7}$	$7.40\cdot10^{-7}$	$-2.55\cdot10^{-9}$
a_4	$2.23\cdot10^{-5}$	0.03	0.012	$9.79\cdot10^{-5}$
a_5	$4.97\cdot10^{-9}$	$-4.86\cdot10^{-6}$	$-2.83\cdot10^{-5}$	$2.91\cdot10^{-8}$
a_6	$8.46\cdot10^{-12}$	$3.74\cdot10^{-9}$	$5.01\cdot10^{-9}$	$-2.19\cdot10^{-12}$
a_7	-2.009	$-1.79\cdot10^{3}$	$-1.11\cdot10^{3}$	19.23
a_8	$5.44\cdot10^{-3}$	3.137	1.257	$-8.80\cdot10^{-3}$
a_9	$-2.38\cdot10^{-6}$	$-1.16\cdot10^{-3}$	$-2.91\cdot10^{-4}$	$2.48\cdot10^{-6}$
a_{10}	$2.61\cdot10^{-10}$	$1.12\cdot10^{-7}$	$1.22\cdot10^{-8}$	$-2.40\cdot10^{-10}$

Таблиця 4.12 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей концентрацій шкідливих речовин у ВГ двигуна автомобіля KIA CEED при роботі на ЗНГ

	C_{CO}, %	$C_{C_mH_n}$, млн$^{-1}$	C_{NO_x}, млн$^{-1}$	C_{CO_2}, %
a_1	$1.69\cdot10^{-14}$	$-1.15\cdot10^{-11}$	$9.39\cdot10^{-11}$	$-7.68\cdot10^{-14}$
a_2	$3.89\cdot10^{-15}$	$5.63\cdot10^{-13}$	$-4.39\cdot10^{-12}$	$1.23\cdot10^{-14}$
a_3	$-5.38\cdot10^{-10}$	$2.39\cdot10^{-8}$	$7.38\cdot10^{-7}$	$-1.91\cdot10^{-9}$
a_4	$6.00\cdot10^{-5}$	$1.66\cdot10^{-3}$	0.012	$4.84\cdot10^{-5}$
a_5	$-3.83\cdot10^{-8}$	$-1.68\cdot10^{-5}$	$-2.64\cdot10^{-5}$	$5.21\cdot10^{-8}$
a_6	$7.59\cdot10^{-12}$	$4.30\cdot10^{-9}$	$3.47\cdot10^{-9}$	$-7.69\cdot10^{-12}$
a_7	-2.105	$-1.79\cdot10^{3}$	$-1.70\cdot10^{3}$	20.167
a_8	$2.83\cdot10^{-3}$	3.908	2.13	-0.011
a_9	$-7.38\cdot10^{-7}$	$-1.42\cdot10^{-3}$	$-6.62\cdot10^{-4}$	$3.37\cdot10^{-6}$
a_{10}	$3.90\cdot10^{-11}$	$1.46\cdot10^{-7}$	$6.45\cdot10^{-8}$	$-3.18\cdot10^{-10}$

Таблиця 4.13 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей концентрацій шкідливих речовин у ВГ двигуна автомобіля ВАЗ-21101 при роботі на бензині

	C_{CO}, %	$C_{C_mH_n}$, млн$^{-1}$	C_{NO_x}, млн$^{-1}$	C_{CO_2}, %
a_1	$7.70 \cdot 10^{-15}$	$3.24 \cdot 10^{-12}$	$-7.75 \cdot 10^{-11}$	$-8.10 \cdot 10^{-15}$
a_2	0	$-1.18 \cdot 10^{-13}$	$1.32 \cdot 10^{-12}$	0
a_3	$1.51 \cdot 10^{-10}$	$4.50 \cdot 10^{-8}$	$-7.53 \cdot 10^{-7}$	$-1.52 \cdot 10^{-10}$
a_4	$-2.35 \cdot 10^{-5}$	$-4.18 \cdot 10^{-3}$	0.072	$2.35 \cdot 10^{-5}$
a_5	$4.88 \cdot 10^{-9}$	$1.31 \cdot 10^{-10}$	$1.23 \cdot 10^{-5}$	$-4.83 \cdot 10^{-9}$
a_6	$1.93 \cdot 10^{-13}$	$1.35 \cdot 10^{-11}$	$-3.09 \cdot 10^{-10}$	$-1.98 \cdot 10^{-13}$
a_7	2.636	287.362	$-1.24 \cdot 10^{3}$	10.364
a_8	$-1.47 \cdot 10^{-3}$	-0.064	0.234	$1.47 \cdot 10^{-3}$
a_9	$2.95 \cdot 10^{-7}$	$1.70 \cdot 10^{-5}$	$-3.54 \cdot 10^{-5}$	$-2.94 \cdot 10^{-7}$
a_{10}	$-7.17 \cdot 10^{-12}$	$-1.34 \cdot 10^{-9}$	$1.48 \cdot 10^{-8}$	$7.02 \cdot 10^{-12}$

Таблиця 4.14 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей концентрацій шкідливих речовин у ВГ двигуна автомобіля ВАЗ-21101 при роботі на паливі Е-40

	C_{CO}, %	$C_{C_mH_n}$, млн$^{-1}$	C_{NO_x}, млн$^{-1}$	C_{CO_2}, %
a_1	$6.90 \cdot 10^{-15}$	$3.11 \cdot 10^{-12}$	$-7.87 \cdot 10^{-11}$	$-5.51 \cdot 10^{-15}$
a_2	0	$-1.17 \cdot 10^{-13}$	$1.37 \cdot 10^{-12}$	0
a_3	$1.43 \cdot 10^{-10}$	$4.46 \cdot 10^{-8}$	$-7.78 \cdot 10^{-7}$	$-1.47 \cdot 10^{-10}$
a_4	$-2.24 \cdot 10^{-5}$	$-4.18 \cdot 10^{-3}$	0.076	$2.28 \cdot 10^{-5}$
a_5	$4.74 \cdot 10^{-9}$	$2.81 \cdot 10^{-8}$	$1.23 \cdot 10^{-5}$	$-4.89 \cdot 10^{-9}$
a_6	$1.68 \cdot 10^{-13}$	$8.62 \cdot 10^{-12}$	$-2.41 \cdot 10^{-10}$	$-1.66 \cdot 10^{-13}$
a_7	2.529	289.178	$-1.32 \cdot 10^{3}$	10.278
a_8	$-1.41 \cdot 10^{-3}$	-0.066	0.268	$1.43 \cdot 10^{-3}$
a_9	$2.84 \cdot 10^{-7}$	$1.76 \cdot 10^{-5}$	$-4.35 \cdot 10^{-5}$	$-2.88 \cdot 10^{-7}$
a_{10}	$-6.90 \cdot 10^{-12}$	$-1.39 \cdot 10^{-9}$	$1.60 \cdot 10^{-8}$	$7.54 \cdot 10^{-12}$

Коефіцієнт, що враховує вплив складу суміші на концентрації шкідливих речовин, визначається як:

$$k_\alpha^{CO} = 21 - 20 \cdot \alpha, \tag{4.21}$$

$$k_\alpha^{C_mH_n} = 5 - 4 \cdot \alpha, \tag{4.22}$$

$$k_\alpha^{NO_x} = 3.85 \cdot \alpha - 2.85. \tag{4.23}$$

Приклади графічних залежності концентрацій шкідливих речовин, визначених за допомогою поліноміальних моделей, та відповідні точки експериментальних даних представлено на рис. 4.8-4.11.

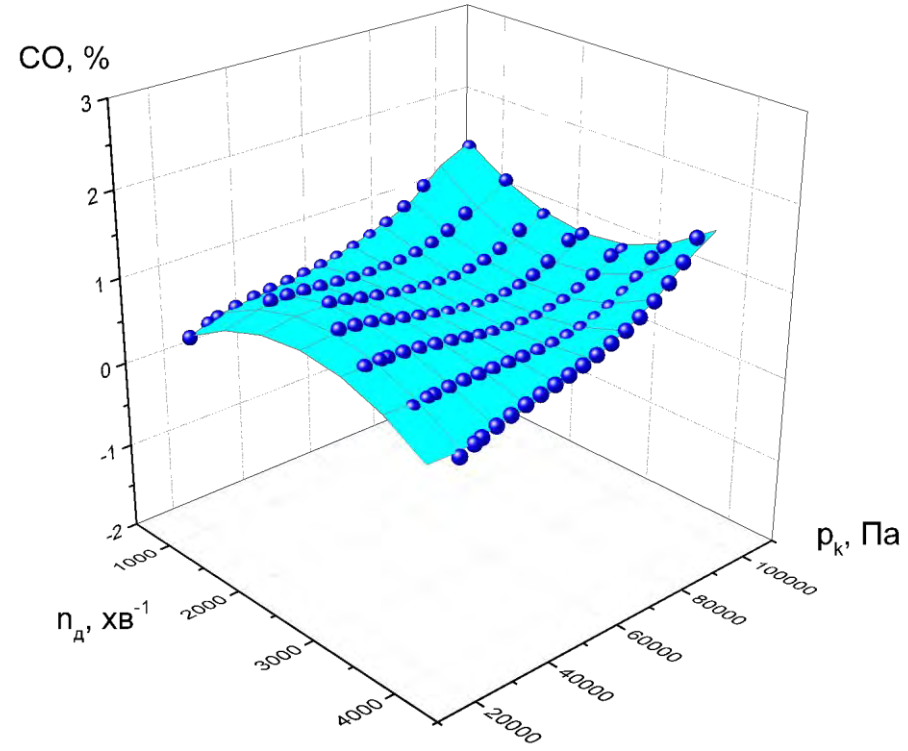


Рисунок 4.8 – Залежність концентрації оксиду вуглецю у ВГ двигуна автомобіля KIA CEED при живленні ЗНГ

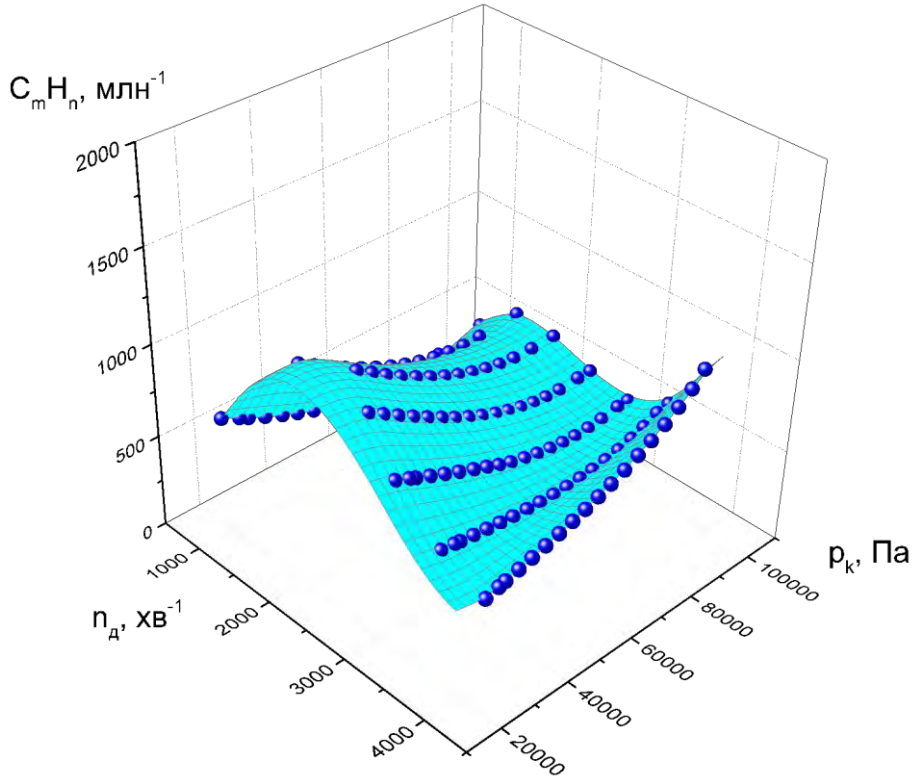


Рисунок 4.9 – Залежність концентрації сумарних вуглеводнів у ВГ двигуна автомобіля KIA CEED при живленні ЗНГ

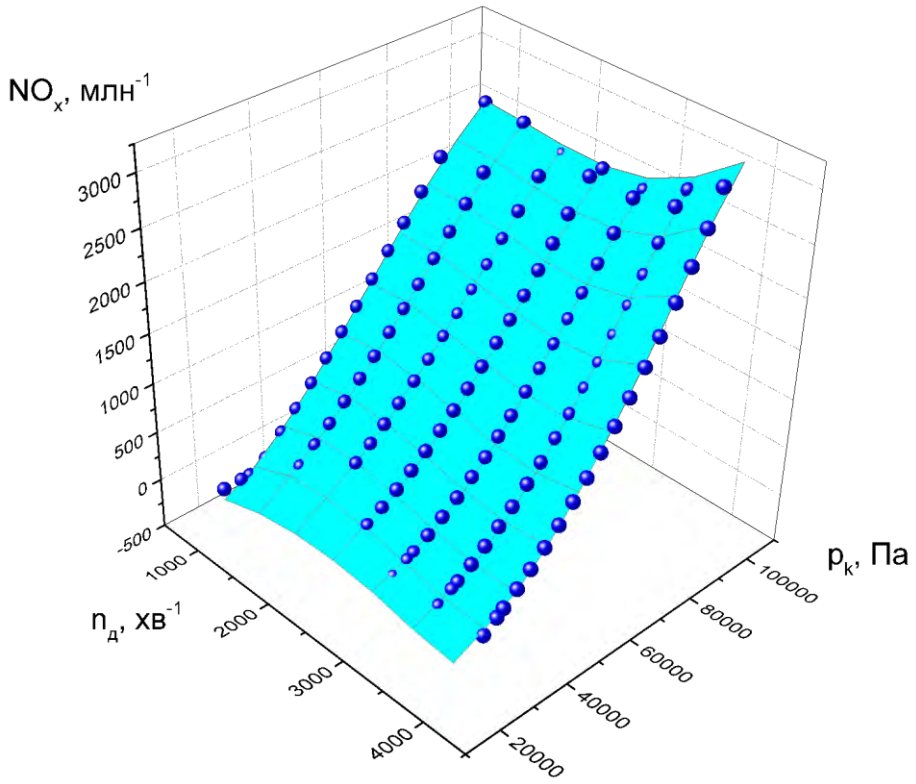


Рисунок 4.10 – Залежність концентрації оксидів азоту у ВГ двигуна автомобіля KIA CEED при живленні ЗНГ

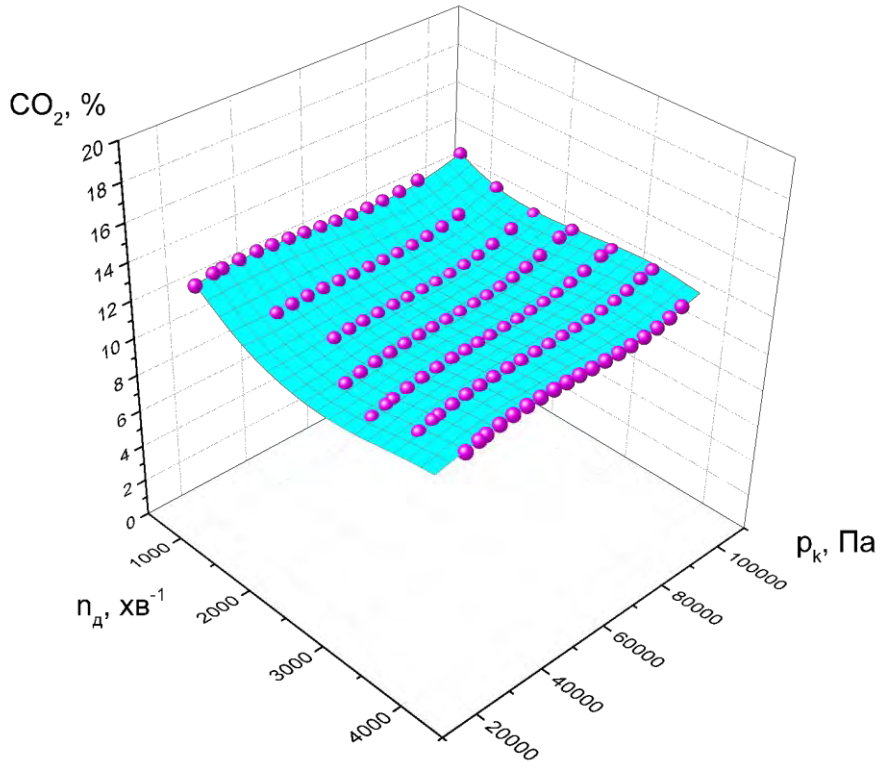


Рисунок 4.11 – Залежність концентрації діоксиду вуглецю у ВГ двигуна автомобіля KIA CEED при живленні ЗНГ

В результаті обробки відпрацьованих газів у каталітичному нейтралізаторі концентрації шкідливих речовин на виході із системи випуску будуть визначатись як [138]:

$$C_i^{\text{н}} = C_i \cdot \left(1 - \frac{E_i}{100}\right),$$

де E_i – ефективність нейтралізації *i*-тої речовини, %.

Ефективність нейтралізації *i*-тої речовини є показником ефективності складних термохімічних процесів на поверхні каталітичного шару нейтралізатора [140-152]. Тому, на нього мають одночасний вплив хімічний склад середовища ВГ, що залежить від вихідного складу паливоповітряної суміші і визначає умови протікання окислювальних чи відновлювальних реакцій, та температура на поверхні каталітичного шару, що залежить від температури носія нейтралізатора. В загальному випадку залежність ефективності нейтралізації *i*-тої речовини може бути представлена у вигляді:

$$E_i = E_i(\alpha) \cdot E_i(t_k) = E_i(\alpha) \cdot \left(1 - e^{-30 \cdot \left(\frac{t_k - 350}{200}\right)^4}\right),$$

де t_k – температура нейтралізатора, К;

$E_i(\alpha)$ – залежність ефективності нейтралізації *i*-тої речовини від складу паливоповітряної суміші, %.

Залежність ефективності нейтралізації *i*-тої речовини від складу паливоповітряної суміші має різний характер для речовин, що окислюються або відновлюються в результаті реакцій нейтралізації. Ці залежності для різних речовин мають вигляд [138]:

$$E_{CO} = \begin{cases} 80, \alpha < 1 \\ 15383 - 59573 \cdot \alpha + 84945 \cdot \alpha^2 - 52692 \cdot \alpha^3 + 12017 \cdot \alpha^4, \alpha \geq 1 \end{cases}, \quad (4.24)$$

$$E_{C_m H_n} = \begin{cases} 75, \alpha < 1 \\ -1924 + 5275 \cdot \alpha - 4620 \cdot \alpha^2 + 1344 \cdot \alpha^3, \alpha \geq 1' \end{cases} \quad (4.25)$$

$$E_{NO_x} = \begin{cases} 95, \alpha < 0.98 \\ -3000 \cdot \alpha + 3035, 0.98 \le \alpha \le 1. \\ 5, \alpha > 1 \end{cases} \quad (4.26)$$

Температура нейтралізатора в процесі прогріву визначається із залежності, К [59]:

$$t_k = T_0 + \int_0^{\tau} \frac{(G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}) \cdot \mu C_{vm_{\text{ПЗ}}} \cdot (T_{\text{ВГ}} - t_k)}{3600 \cdot \mu_{\text{ПЗ}} \cdot m_{\text{Н}} \cdot C_{\text{Н}}} d\tau, \quad (4.27)$$

де τ - час, який пройшов з моменту пуску двигуна, с;

$\mu C_{vm_{\text{ПЗ}}}$ - середня ізохорна мольна теплоємність продуктів згоряння, кДж/(кмоль·К);

$\mu_{\text{ПЗ}}$ - молярна маса продуктів згоряння, кг/кмоль;

$T_{\text{ВГ}}$ - температура ВГ, К;

$m_{\text{Н}}$ – маса блоку нейтралізатора, кг;

$C_{\text{Н}}$ - теплоємність матеріалу блоку нейтралізатора, кДж/(кг·К);

$d\tau$ – розрахунковий проміжок часу, с.

Для визначення мольних ізохорних теплоємностей продуктів згорання використано наближені залежності [124, 153], кДж/(кмоль·К):

- при $\alpha \ge 1$:

$$\mu C_{vm_{пз}} = (21{,}03 + \frac{2{,}14}{\alpha}) + (4{,}27 + \frac{1{,}84}{\alpha}) \cdot 10^{-3} \cdot (T_{ВГ} - 273), \quad (4.28)$$

- при $0{,}7 < \alpha < 1{,}0$:

$$\mu C_{vm_{пз}} = (18{,}93 + 4{,}19 \cdot \alpha) + (3{,}6 + 2{,}51 \cdot \alpha) \cdot 10^{-3} \cdot (T_{ВГ} - 273). \quad (4.29)$$

Мольна маса продуктів згоряння була прийнята $\mu_{\text{ПЗ}} = 29$ кг/кмоль [124, 153].

Температура ВГ описується для кожного типу двигуна і виду використаного палива поліноміальною залежністю виду:

$$T_{\text{ВГ}} = a_1 \cdot n_{\text{д}} \cdot p_k + a_2 \cdot {p_k}^2 + a_3 \cdot p_k + a_4 + a_5 \cdot n_{\text{д}} + a_6 \cdot {n_{\text{д}}}^2. \qquad (4.30)$$

Значення поліноміальних коефіцієнтів залежностей температури ВГ, визначених для двигунів об'єктів досліджень при живленні різними видами палив, приведено в табл. 4.15.

Таблиця 4.15 – Коефіцієнти поліноміальних залежностей температури ВГ

	KIA CEED		ВАЗ-21101	
	бензин	ЗНГ	бензин	Е-40
a_1	$7.60 \cdot 10^{-7}$	$7.76 \cdot 10^{-7}$	$7.51 \cdot 10^{-7}$	$7.58 \cdot 10^{-7}$
a_2	$1.47 \cdot 10^{-9}$	$-2.68 \cdot 10^{-11}$	$1.33 \cdot 10^{-9}$	$1.57 \cdot 10^{-9}$
a_3	$2.26 \cdot 10^{-4}$	$3.42 \cdot 10^{-4}$	$1.09 \cdot 10^{-4}$	$4.28 \cdot 10^{-5}$
a_4	417.504	415.357	419.983	424.549
a_5	0.074	0.074	0.075	0.072
a_6	$-3.16 \cdot 10^{-6}$	$-3.25 \cdot 10^{-6}$	$-2.85 \cdot 10^{-6}$	$-2.63 \cdot 10^{-6}$

Приклад графічної залежності температури ВГ, визначеної за допомогою поліноміальної моделі, та відповідні точки експериментальних даних, представлено на рис. 4.12.

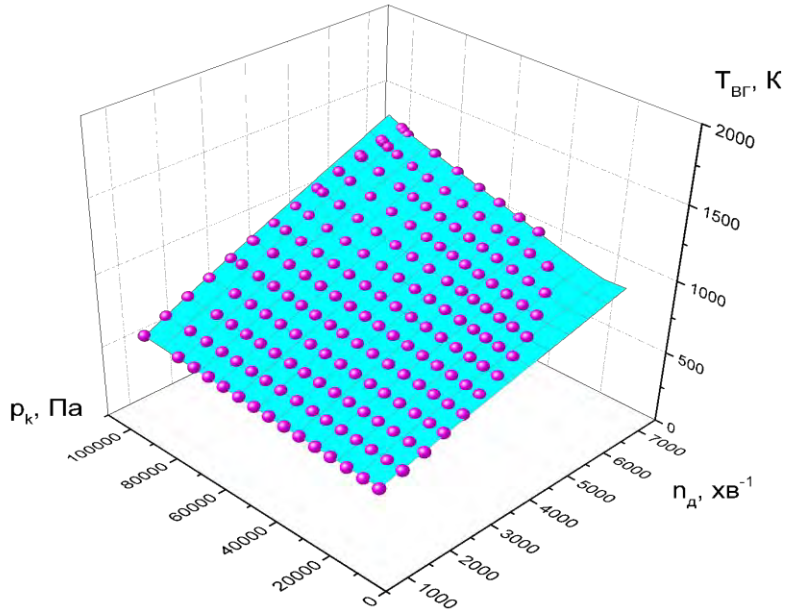


Рисунок 4.12 – Залежність температури ВГ двигуна автомобіля ВАЗ-21101 при живленні бензином

Викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами розраховуються за визначеними концентраціями шкідливих речовин на виході із системи випуску, витрат палива і повітря та мольної маси шкідливих речовин $G_i = f\left(C_i^н, G_{пал}, G_{пов}, \mu_i\right)$ [138, 154].

У випадку використання бензину концентрації шкідливих речовин у ВГ будуть визначатися з урахуванням значення коефіцієнту надміру повітря за такими залежностями, кг/год:

$$G_{CO} = \begin{cases} \frac{C_{CO}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot 0.02259 \cdot (6.104 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \le 1 \\ \frac{C_{CO}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot 0.03425 \cdot (-1.0696 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.31)$$

$$G_{C_mH_n} = \begin{cases} \frac{C_{C_mH_n}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{C_mH_n} \cdot 0.02259 \cdot (6.104 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \le 1 \\ \frac{C_{C_mH_n}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{C_mH_n} \cdot 0.03425 \cdot (-1.0696 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.32)$$

$$G_{NO_x} = \begin{cases} \frac{C_{NO_x}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{NO_x} \cdot 0.027 \cdot (5.31 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \le 1 \\ \frac{C_{NO_x}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{NO_x} \cdot 0.03425 \cdot (1.058 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.33)$$

$$G_{CO_2} = \begin{cases} \frac{C_{CO_2}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO_2} \cdot 0.02259 \cdot (6.104 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \le 1 \\ \frac{C_{CO_2}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO_2} \cdot 0.03425 \cdot (-1.0696 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}. \quad (4.34)$$

У випадку використання ЗНГ концентрації шкідливих речовин у ВГ будуть визначатися за наступними залежностями, кг/год:

$$G_{CO} = \begin{cases} \frac{C_{CO}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot 0.02244 \cdot (6.2746 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \le 1 \\ \frac{C_{CO}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot 0.03423 \cdot (-1.3278 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.35)$$

$$G_{C_mH_n} = \begin{cases} \frac{C_{C_mH_n}{}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{C_mH_n} \cdot 0.02244 \cdot (6.2746 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \leq 1 \\ \frac{C_{C_mH_n}{}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{C_mH_n} \cdot 0.03423 \cdot (-1.3278 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.36)$$

$$G_{NO_x} = \begin{cases} \frac{C_{NO_x}{}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{NO_x} \cdot 0.02704 \cdot (5.882 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \leq 1 \\ \frac{C_{NO_x}{}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{NO_x} \cdot 0.03423 \cdot (1.3272 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.37)$$

$$G_{CO_2} = \begin{cases} \frac{C_{CO_2}{}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO_2} \cdot 0.02244 \cdot (6.2746 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \leq 1 \\ \frac{C_{CO_2}{}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO_2} \cdot 0.03423 \cdot (-1.3278 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}. \quad (4.38)$$

У випадку використання палива Е-40 концентрації шкідливих речовин у ВГ будуть визначатися за наступними залежностями, кг/год:

$$G_{CO} = \begin{cases} \frac{C_{CO}{}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot 0.02252 \cdot (5.4397 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \leq 1 \\ \frac{C_{CO}{}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO} \cdot 0.03454 \cdot (-0.9012 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.39)$$

$$G_{C_mH_n} = \begin{cases} \frac{C_{C_mH_n}{}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{C_mH_n} \cdot 0.02252 \cdot (5.4397 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \leq 1 \\ \frac{C_{C_mH_n}{}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{C_mH_n} \cdot 0.03454 \cdot (-0.9012 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.40)$$

$$G_{NO_x} = \begin{cases} \frac{C_{NO_x}{}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{NO_x} \cdot 0.02729 \cdot (4.8157 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \leq 1 \\ \frac{C_{NO_x}{}^{\text{н}}}{10^6} \cdot \mu_{NO_x} \cdot 0.03454 \cdot (1.1216 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}, \quad (4.41)$$

$$G_{CO_2} = \begin{cases} \frac{C_{CO_2}{}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO_2} \cdot 0.02252 \cdot (5.4397 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha \leq 1 \\ \frac{C_{CO_2}{}^{\text{н}}}{100} \cdot \mu_{CO_2} \cdot 0.03454 \cdot (-0.9012 \cdot G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}), \alpha > 1 \end{cases}. \quad (4.42)$$

Мольні маси шкідливих речовин ВГ прийнято наступними $\mu_{CO} = 28$ кг/кмоль, $\mu_{C_mH_n} = 86$ кг/кмоль (за гексаном), $\mu_{NO_x} = 46$ кг/кмоль (за діоксидом азоту), $\mu_{CO_2} = 44$ кг/кмоль.

Питомі витрати енергії визначаються відношенням витраченої енергії до виконаної роботи двигуном за годину, МДж/(кВт·год) [124]:

$$g_e = \begin{cases} \dfrac{E_{\text{вих}} \cdot 9550}{M_e \cdot n_{\text{д}}}, \text{в навантаженому режимі} \\ \dfrac{E_{\text{вих}} \cdot 9550}{M_i \cdot n_{\text{д}}}, \text{в режимі холостого ходу} \end{cases}. \quad (4.43)$$

Питомі викиди шкідливих речовин визначаються відношенням масових викидів *i*-тої речовини до виконаної роботи двигуном за годину, г/(кВт·год) [138]:

$$g_i = \begin{cases} \dfrac{G_i \cdot 9550 \cdot 10^3}{M_e \cdot n_{\text{д}}}, \text{в навантаженому режимі} \\ \dfrac{G_i \cdot 9550 \cdot 10^3}{M_i \cdot n_{\text{д}}}, \text{в режимі холостого ходу} \end{cases}. \quad (4.44)$$

4.3 Моделювання процесів підсистеми «Колісний транспортний засіб» (рівень C, E)

Моделювання процесів підсистеми КТЗ відбувається відповідно до алгоритмів, що зображені на рис. 4.13-4.15. Функціонування цієї підсистеми та її модель базується на принципі забезпечення максимальної ефективності досягнення заданої швидкості руху з максимально можливим прискоренням, мінімально можливими витратою палива та викидами шкідливих речовин, у даних дорожніх умовах руху.

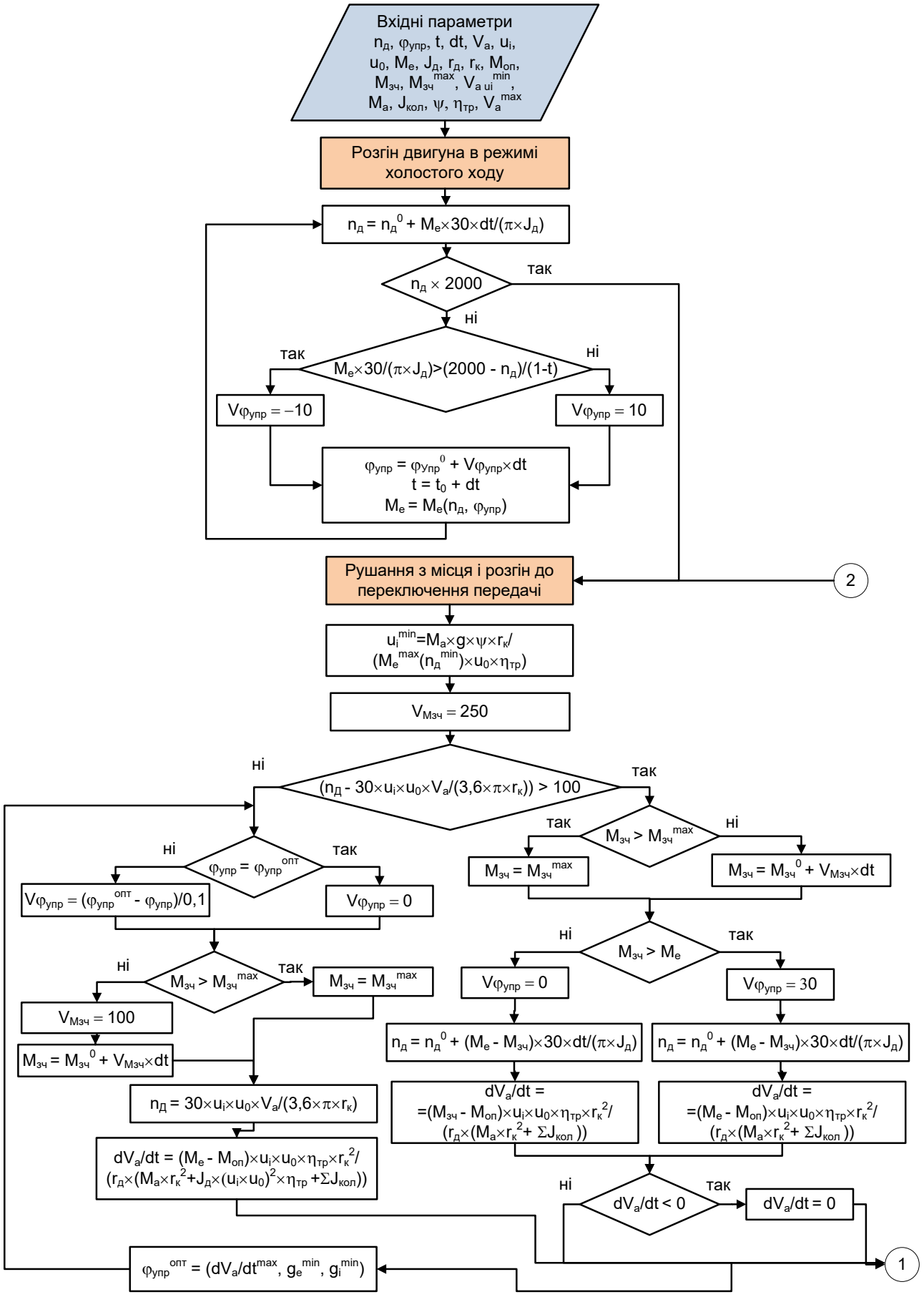


Рисунок 4.13 – Алгоритм моделювання процесу рушання КТЗ

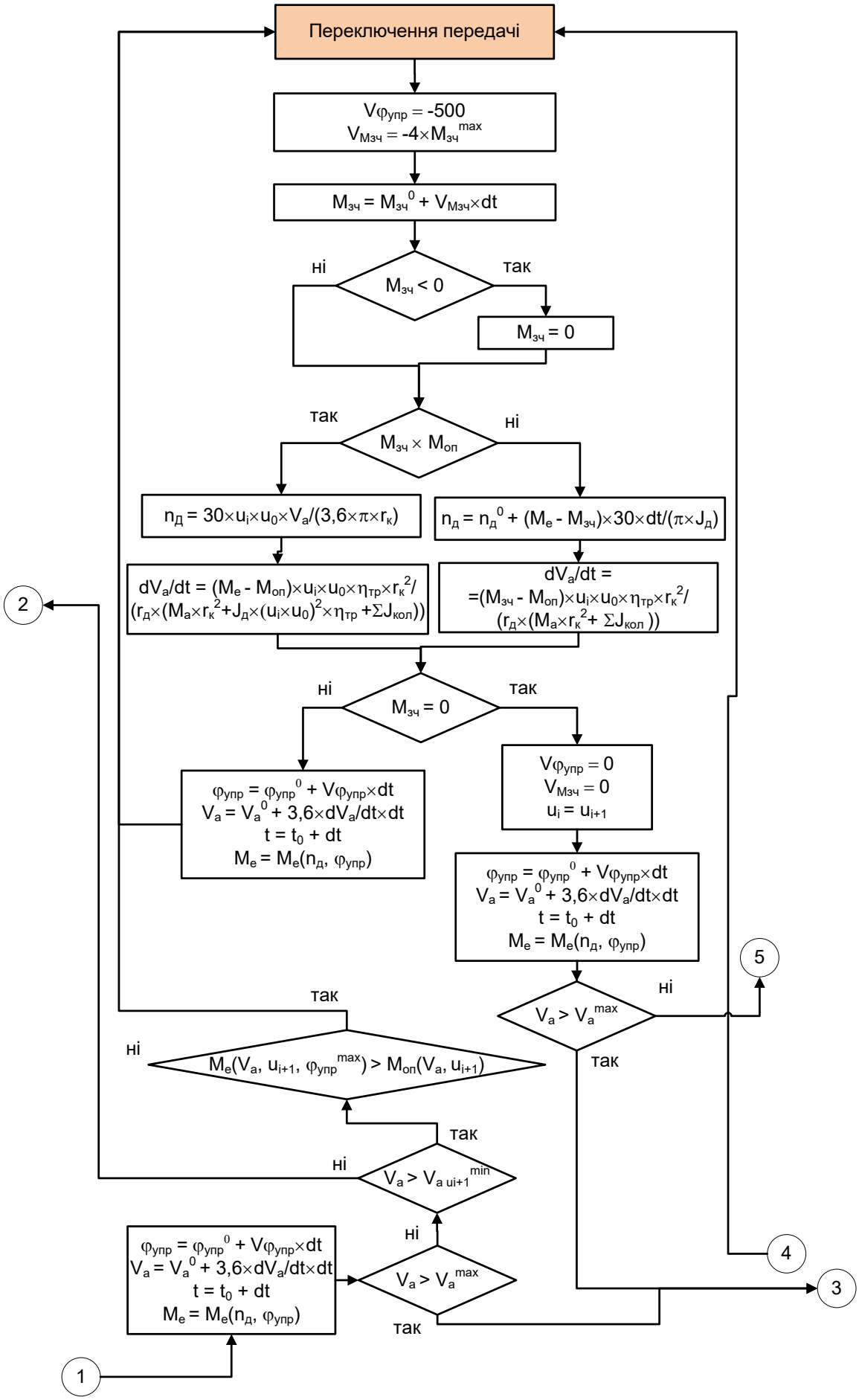


Рисунок 4.14 – Алгоритм моделювання процесу переключення передачі КТЗ

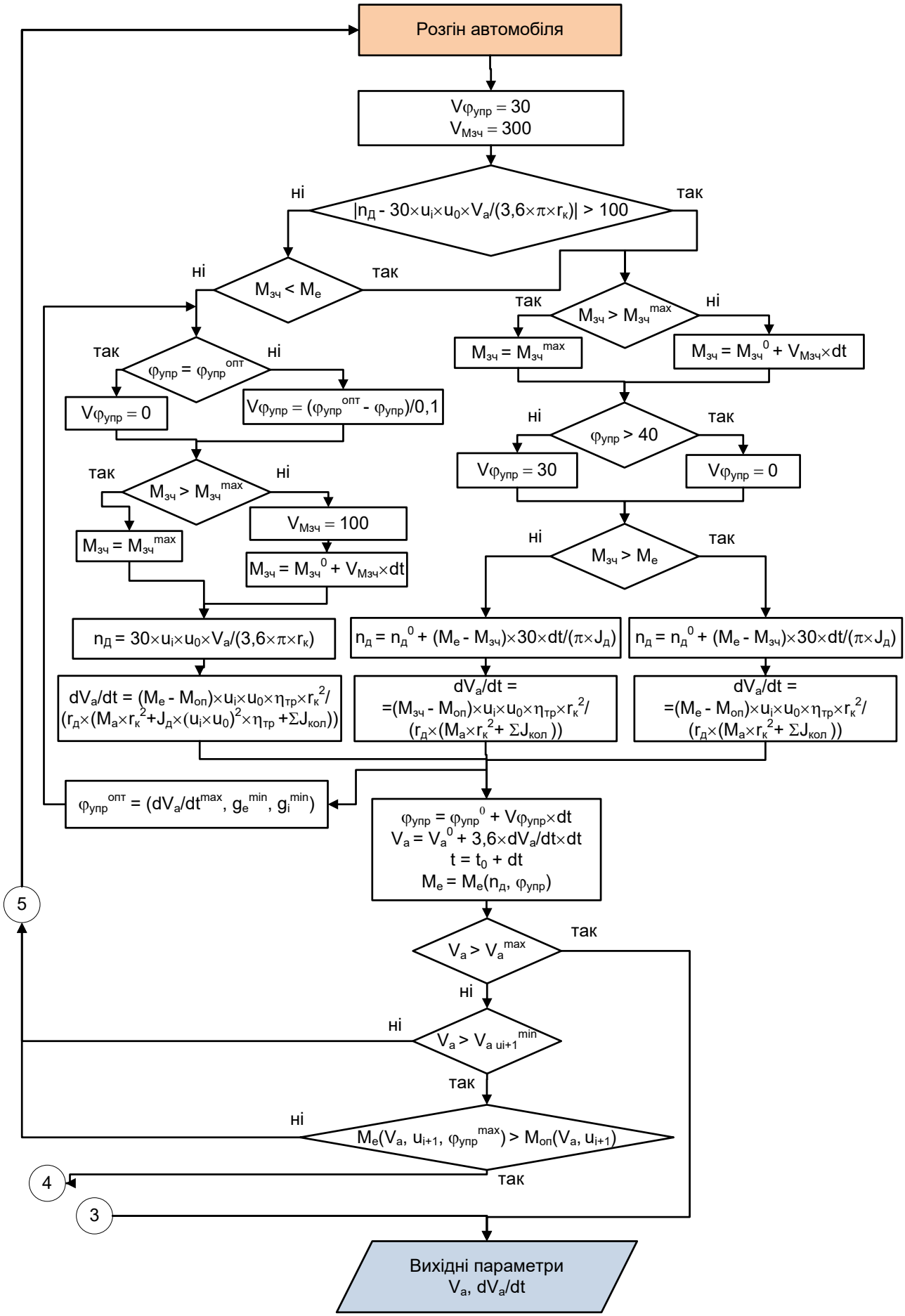


Рисунок 4.15 – Алгоритм моделювання процесу розгону КТЗ

Зазначений алгоритм описує процес моделювання основних етапів досягнення заданого значення швидкості [200-201]:

- розгін двигуна в режимі холостого ходу;

- рушання з місця і розгін до першого переключення передачі;

- переключення передачі;

- розгін до заданої швидкості.

Два останніх етапи періодично повторюються в процесі досягнення заданої швидкості відповідно до її значення.

Вхідними даними є параметри ЕУ: частота обертання $n_{\text{д}}$, положення важеля управління $\varphi_{\text{упр}}$ ЕУ, момент інерції двигуна і приведені до нього частини зчеплення та трансмісії $J_{\text{д}}$, моменти інерції коліс КТЗ $\sum J_{\text{кол}}$, ефективний крутний момент двигуна M_e; параметри часу: поточний час t та розрахунковий проміжок часу dt; параметри швидкості КТЗ: початкова швидкість V_a, задана максимальна швидкість V_a^{max} (як значення максимально можливої швидкості у даних інфраструктурних умовах), мінімальна швидкість руху на *i*-тій передачі трансмісії $V_{a\,ui}^{min}$; параметри трансмісії: передаточні числа коробки передач u_i, головної передачі u_0, ККД трансмісії $\eta_{\text{тр}}$, момент тертя зчеплення $M_{\text{зч}}$, максимальний момент тертя зчеплення $M_{\text{зч}}^{max}$; параметри ходової частини КТЗ: динамічний радіус $r_{\text{д}}$ та радіус кочення $r_{\text{к}}$ колеса; параметри інфраструктури: поточний коефіцієнт дорожнього опору ψ і момент опору руху КТЗ приведений до колінчастого валу $M_{\text{оп}}$; маса КТЗ M_a.

Вихідними параметрами є швидкість V_a і прискорення $\frac{dV_a}{dt}$ КТЗ.

Рух КТЗ починається з процесу розгону двигуна в режимі холостого ходу. Частота обертання валу двигуна в цьому режимі [155] описується рівнянням, хв$^{-1}$:

$$n_{\partial}=n_{\partial}^{\,0}+M_e \cdot 30 \cdot \frac{dt}{\pi \cdot J_{\partial}}, \tag{4.45}$$

де $n_{\partial}^{\,0}$ – значення частоти обертання валу двигуна на початку розрахункового проміжку часу *dt*, хв$^{-1}$;

dt – розрахунковий проміжок часу, с.

На цьому етапі частота обертання, виходячи з умови рушання КТЗ, повинна досягти 2000 хв$^{-1}$ за час 1 с [156].

В процесі управління ЕУ перевіряється умова забезпечення потрібної швидкості зростання частоти обертання валу двигуна, хв$^{-1}$/с, протягом часу, що лишився до завершення 1 с. У разі недостатньої швидкості зростання здійснюється збільшення переміщення важеля управління ЕУ зі швидкістю $V_{\varphi\,\text{упр}} = 10$ град/с; у протилежному випадку – зменшення переміщення зі швидкістю -10 град/с.

Визначене в результаті управляючих дій положення важеля управління ЕУ, град [55]:

$$\varphi_{\text{упр}} = \varphi_{\text{упр}}{}^{0} + V_{\varphi\,\text{упр}} \cdot dt, \tag{4.46}$$

де $\varphi_{\text{упр}}{}^{0}$ – положення важеля управління ЕУ на початку розрахункового проміжку часу *dt*, град.

На основі цього визначається поточне значення ефективного крутного моменту двигуна з використанням алгоритму моделювання ЕУ (рис. 4.2), Н·м:

$$M_e = M_e\left(n_{\text{д}}, \varphi_{\text{упр}}\right). \tag{4.47}$$

Поточний момент часу, с:

$$t = t_0 + dt, \tag{4.48}$$

де t_0 – момент часу на початку розрахункового проміжку *dt*, с.

При досягненні значення 2000 хв$^{-1}$ розгін двигуна в режимі холостого ходу припиняється і відбувається перехід до наступного етапу рушання з місця та розгону до першого переключення передачі.

На цьому етапі вибирається мінімальне необхідне значення передаточного числа коробки передач для рушання з місця у даних умовах [157]:

$$u_i^{\min} = \frac{M_a \cdot g \cdot \psi \cdot r_\partial}{M_e^{\max}\left(n_\partial^{nin}\right) \cdot u_0 \cdot \eta_{mp}}, \quad (4.49)$$

де $M_e^{max}\left(n_д^{min}\right)$ – максимально можливе значення крутного моменту двигуна при мінімальній частоті обертання за зовнішньою швидкісною характеристикою двигуна, Н·м.

За визначеним значенням u_i^{min} визначається фактичне передаточне число ступінчастої коробки передач за умовою $u_i > u_i^{min}$.

В процесі рушання внаслідок включення зчеплення встановлюється швидкість наростання моменту тертя зчеплення $V_{Mзч} = 250$ Н·м/с [55, 156].

Далі визначається умова буксування зчеплення, як абсолютна різниця між поточною частотою обертання вала двигуна і частотою обертання веденої частини зчеплення, при даній передачі і швидкості КТЗ $\left|n_д - \frac{30 \cdot u_i \cdot u_0 \cdot V_a}{3.6 \cdot \pi \cdot r_к}\right| > 100$.

Визначення частоти обертання валу двигуна і прискорення КТЗ у випадку буксуючого зчеплення здійснюється в залежності від поточного значення моменту тертя зчеплення, значення якого обмежується $M_{зч}^{max}$ та визначається як [55, 156]:

$$M_{зч} = \left(M_{зч}^{\ 0} + V_{Mзч} \cdot dt\right) \le M_{зч}^{max}, \quad (4.50)$$

де $M_{зч}^{\ 0}$ – момент тертя зчеплення на початку розрахункового проміжку часу *dt*, Нм.

У випадку, коли $M_{зч} < M_e$ встановлюється значення $V_{\varphi\,упр} = 0$. Частота обертання валу двигуна з буксуючим зчепленням визначається як, хв$^{-1}$:

$$n_\partial = n_\partial^{\ 0} + \left(M_e - M_{зч}\right) \cdot 30 \cdot \frac{dt}{\pi \cdot J_\partial}. \quad (4.51)$$

При відсутності буксування зчеплення, коли момент $M_{зч}$, що передає зчеплення, перевищує крутний момент двигуна ($M_{зч} > M_e$), рух КТЗ описується, з урахуванням [55, 158-160], наступною залежністю:

$$\frac{(M_e - M_{оп}) \cdot u_i \cdot u_0 \cdot \eta_{тр}}{r_д} = M_a \cdot \frac{dV_a}{dt} \cdot \left(1 + \frac{J_д \cdot (u_i \cdot u_0)^2}{M_a \cdot {r_k}^2} + \frac{\sum J_{кол}}{M_a \cdot {r_k}^2}\right), \quad (4.52)$$

де M_e – крутний момент на валу двигуна, Н·м;

$r_д$ – динамічний радіус колеса, м;

u_i – передаточне число коробки передач;

u_0 – передаточне число головної передачі;

$\eta_{тр}$ – ККД трансмісії;

r_k – радіус кочення колеса, м;

$J_д$ – приведений до осі колінчастого валу двигуна момент інерції двигуна, зчеплення та трансмісії, кг·м^2;

$\sum J_{кол}$ – сумарний момент інерції коліс КТЗ, кг·м^2;

$M_{оп}$ – приведений до валу двигуна момент опору руху КТЗ, визначимо, з урахуванням [55, 158-160], за виразом:

$$M_{on} = \frac{\left(M_a \cdot g \cdot \psi(GPS) + C_x \cdot \rho_0 \cdot F_a \cdot \frac{{V_a}^2}{2}\right) \cdot r_д}{u_i \cdot u_0 \cdot \eta_{mp}}, \quad (4.53)$$

де C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору КТЗ;

ρ_0 – густина навколишнього повітря, кг/м^3;

F_a – площа поперечного перерізу КТЗ, м^2;

V_a – швидкість КТЗ, м/с;

$\psi(GPS)$ – поточний коефіцієнт дорожнього опору, який враховує опір коченню й опір підйому дороги, визначений відповідно до поточних географічних

координат положення КТЗ на дорозі в даних інфраструктурних умовах. Залежність для його визначення [55, 157-160]:

$$\psi(GPS) = f_0 \cdot \left(1 + 4 \cdot 10^{-5} \cdot {V_a}^2\right) \cdot \cos\alpha(GPS) + \sin\alpha(GPS), \qquad (4.54)$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню при малій швидкості руху, який залежить від типу шини, стану опорної поверхні, тиску повітря, тощо. Його значення лежить у межах $0{,}008 \ldots 0{,}02$. При цьому, менше значення відноситься до шин з металокордом, а більше до шин з регульованим тиском повітря;

V_a – швидкість КТЗ, км/год;

$\alpha(GPS)$ – кут повздовжнього нахилу дороги, визначений на основі аналізу координат GPS поточного положення КТЗ з використанням спеціалізованого програмного забезпечення [161], град. При підйомі кут α береться зі знаком «+», а при спуску – «-».

Із аналізу виразу (4.52) визначимо прискорення КТЗ при заблокованому зчепленні за виразом, м/с^2:

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{\left(M_e - M_{on}\right) \cdot u_i \cdot u_0 \cdot \eta_{mp} \cdot {r_к}^2}{r_д \cdot \left(M_a \cdot {r_к}^2 + J_д \cdot \left(u_i \cdot u_0\right)^2 \cdot \eta_{mp} + \Sigma J_{кол}\right)}. \qquad (4.55)$$

Якщо зчеплення пробуксовує, то до ведучих коліс КТЗ підводиться тільки та частина крутного моменту, яку передасть зчеплення. У цьому випадку, у вираз (4.55) замість M_e потрібно підставити значення моменту $M_{зч}$, яке реалізує зчеплення. Оскільки ведучою ланкою є зчеплення, а не двигун, то, з достатньою для практичних розрахунків точністю приймаємо $J_д = 0$. Тоді значення прискорення КТЗ при буксуванні зчеплення визначимо за виразом, м/с^2:

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{\left(M_{зч} - M_{on}\right) \cdot u_i \cdot u_0 \cdot \eta_{mp} \cdot {r_к}^2}{r_д \cdot \left(M_a \cdot {r_к}^2 + \Sigma J_{кол}\right)}. \qquad (4.56)$$

Якщо при розрахунку в процесі рушання при $M_{зч} < M_{оп}$ отримується від'ємне значення прискорення, то приймається, що $\frac{dV_a}{dt} = 0$, оскільки за такої умови рух КТЗ ще фактично не почався.

Коли процес буксування зчеплення припиняється, то частота обертання валу двигуна відповідає частоті обертання з блокованим зчепленням [55, 158-160], хв$^{-1}$:

$$n_д = \frac{30 \cdot u_i \cdot u_0 \cdot V_a}{\pi \cdot r_к}, \tag{4.57}$$

де V_a – швидкість КТЗ, м/с.

При цьому, значення крутного моменту на валу двигуна визначається в залежності від положення важеля управління ЕУ, оптимальне значення якого описує цільова функція $\varphi_{упр}{}^{опт} = f\left(\frac{dV_a}{dt}^{max}, g_e{}^{min}, g_i{}^{min}\right)$. Якщо поточне положення важеля управління не відповідає оптимальному, то визначається швидкість його переміщення як, град/с:

$$V_{\varphi\ упр} = \frac{\varphi_{упр}{}^{опт} - \varphi_{упр}}{0{,}1}. \tag{4.58}$$

В залежності від значення крутного моменту на валу двигуна визначається прискорення КТЗ за вказаною залежністю з блокованим зчепленням.

У випадку руху КТЗ з виключеним зчепленням з урахуванням виразу (4.56) прискорення визначається як, м/с^2:

$$\frac{dV_a}{dt} = -\frac{M_{оп} \cdot u_i \cdot u_0 \cdot \eta_{тр} \cdot r_к{}^2}{r_д \cdot \left(M_a \cdot r_к{}^2 + \Sigma J_{кол}\right)}. \tag{4.59}$$

Швидкість КТЗ, км/год, в залежності від значення прискорення визначається як:

$$V_a = {V_a}^0 + 3{,}6 \cdot \frac{dV_a}{dt} \cdot dt, \qquad (4.60)$$

де ${V_a}^0$ – швидкість КТЗ на початку розрахункового проміжку часу *dt*, км/год.

Для визначення можливості включення вищої передачі перевіряється дві умови: досягнення мінімальної швидкості руху на *i*+1-ій передачі $V_a > V_{a\,ui+1}^{min}$ та достатності крутного моменту двигуна при включенні *i*+1-ої передачі для подолання моменту опору руху на *i*+1-ій передачі $M_e\left(V_a, u_{i+1}, {\varphi_{\text{упр}}}^{max}\right) > M_{\text{оп}}(V_a, u_{i+1})$. При виконанні цих умов здійснюється переключення передачі.

При переключенні передачі спочатку встановлюються значення швидкостей переміщення важеля управління ЕУ $V_{\varphi\,\text{упр}} = -500$ град/с та включення зчеплення $V_{M\text{зч}} = -4 \cdot M_{\text{зч}}^{max}$ Н·м/с. Таким чином, відбувається поступове виключення зчеплення і переведення двигуна в режим холостого ходу.

До моменту поки $M_{\text{зч}} \geq M_{\text{оп}}$ визначення частоти обертання валу двигуна і прискорення КТЗ здійснюється як для блокованого зчеплення. Після цього ці параметри визначаються як для буксуючого зчеплення. По досягненню $M_{\text{зч}} = 0$ здійснюється зміна передаточного числа коробки передач $u_i = u_{i+1}$ та перехід до етапу подальшого розгону КТЗ.

Під час розгону КТЗ встановлюються швидкості переміщення важеля управління ЕУ $V_{\varphi\,\text{упр}} = 30$ град/с та включення зчеплення $V_{M\text{зч}} = 300$ Н·м/с. Далі перевіряється умова буксування зчеплення. Якщо частота обертання валу двигуна не відповідає частоті обертання веденої частини зчеплення або момент тертя зчеплення менше крутного моменту двигуна, то розрахунок ведеться як для буксуючого зчеплення. При цьому, максимальне значення положення важеля управління ЕУ обмежується 40 град. В залежності від значень $M_{\text{зч}}$ та M_e здійснюється визначення частоти обертання валу двигуна та прискорення КТЗ з використанням залежностей, аналогічно як і під час рушання, при відповідних умовах.

Розрахунок частоти обертання валу двигуна та прискорення КТЗ під час розгону при блокованому зчепленні здійснюються, аналогічно як і під час розгону після рушання КТЗ, при блокованому зчепленні.

При виконанні описаних вище умов переключення на вищу передачу, відбувається перехід на етап переключення передачі та знову на етап розгону КТЗ. На всіх етапах розгону КТЗ здійснюється перевірка умови досягнення заданої максимальної швидкості V_a^{max}.

4.4 Моделювання процесів підсистеми «Інфраструктура» (рівень G)

В процесі взаємодії КТЗ з інфраструктурою визначається максимально можлива швидкість КТЗ в даних інфраструктурних умовах в залежності від температури повітря T_0, коефіцієнту дорожнього опору $\psi(GPS)$, координат GPS, мінімальних значень витрати енергії ${g_{es}}^{min}$, викидів ШР ${g_{is}}^{min}$, часу руху t^{min}, що описується за допомогою цільової функції у вигляді, км/год:

$$V_a^{max} = f\left(T_0, \psi(GPS), GPS, {g_{es}}^{min}, {g_{is}}^{min}, t^{min}\right). \quad (4.61)$$

Відповідні значення витрат енергії та викидів ШР будуть залежати від моменту опору зовнішніх сил, приведених до валу двигуна, у даних інфраструктурних умовах, що визначають із залежності (4.53).

Поточний коефіцієнт дорожнього опору $\psi(GPS)$ визначається із аналізу координат GPS поточного положення КТЗ з використанням спеціалізованого програмного забезпечення [161] та виразу (4.54).

Поточне значення пройденого шляху КТЗ, км:

$$S = S_0 + \frac{V_a}{3600} \cdot dt, \quad (4.62)$$

де S_0 – пройдений шлях КТЗ на початку розрахункового проміжку часу *dt*, км;

dt – розрахунковий проміжок часу, с;

V_a – швидкість КТЗ, км/год.

Поточні пробігові витрати енергії, МДж/км:

$$g_{es} = \frac{E_{\text{вих}}}{V_a}, \tag{4.63}$$

де V_a – швидкість КТЗ, км/год.

Поточні пробігові викиди ШР, г/км:

$$g_{is} = \frac{G_i \cdot 10^3}{V_a}, \tag{4.64}$$

де V_a – швидкість КТЗ, км/год.

Таким чином, в залежності від конкретних інфраструктурних умов визначається доцільна швидкість руху КТЗ, що максимізує значення відповідної цільової функції.

4.5 Моделювання зворотних зв'язків підсистем і системи загалом (рівні B, D, F, H)

Зворотний зв'язок на рівні B визначає доцільне значення частоти обертання валу насосу для підведення охолоджуючої рідини у тепловий акумулятор для мінімізації питомих витрат енергії ${g_e}^{min}$ та викидів ${g_i}^{min}$ ШР двигуном та максимізації швидкостей зростання температур охолоджуючої рідини $\frac{dt_e}{dt}^{max}$ і каталітичного нейтралізатора $\frac{dt_k}{dt}^{max}$. З цією метою використовується цільова функція у вигляді, хв$^{-1}$:

$$n_{TA} = f\left({g_e}^{min}, {g_i}^{min}, \frac{dt_e}{dt}^{max}, \frac{dt_k}{dt}^{max}\right), \tag{4.65}$$

де n_{TA} – частота обертання валу насосу для підведення охолоджуючої рідини у тепловий акумулятор, хв$^{-1}$.

З використанням математичної моделі визначені доцільні значення частоти обертання валу насосу теплового акумулятора у різних теплових, швидкісних і навантажувальних режимах роботи ЕУ.

Зворотний зв'язок на рівні D описує значення мінімально необхідного передаточного числа коробки передач за умови забезпечення руху КТЗ у визначених інфраструктурних умовах. При цьому, реалізується принцип доцільності руху КТЗ на якомога вищій передачі в даних умовах. Алгоритм визначення ${u_i}^{min}$ та умов переходу на вищу передачу трансмісії було детально у п. 4.3.

Зворотний зв'язок на рівні F забезпечує доцільні параметри управління ЕУ і трансмісією за умов мінімізації питомих витрат енергії та викидів ШР двигуном при максимально можливому прискоренні КТЗ. З урахуванням принципу вибору передач трансмісії, описаному вище, дана задача трансформується у вигляді забезпечення доцільного управління ЕУ відповідно до зазначених умов при даному передаточному числі трансмісії. Доцільне значення положення важеля управління ЕУ описується цільовою функцією, град:

$$\varphi_{\text{упр}}{}^{\text{опт}} = f\left(\frac{dV_a}{dt}^{max}, {g_e}^{min}, {g_i}^{min}\right). \quad (4.66)$$

З використанням даної цільової функції змодельовано доцільні значення управління ЕУ під час розгону КТЗ у різних інфраструктурних умовах.

Зворотний зв'язок на рівні H визначає параметри управління КТЗ для досягнення максимально можливої швидкості КТЗ в даних інфраструктурних умовах, що мінімізує витрати енергії, викиди ШР та час у дорозі. Це забезпечується підтриманням значення ефективного крутного моменту двигуна на рівні моменту опору руху, приведеному до валу двигуна, застосуванням найвищої передачі трансмісії для забезпечення доцільної швидкості руху. Принцип управління цими параметрами описано вище.

Для забезпечення доцільної заданої швидкості руху використовується гальмування, що обов'язково передбачає як мінімум вимкнення подачі енергії в ЕУ (гальмування двигуном в режимі примусового холостого ходу), а також рекуперативне гальмування [162] (за наявності).

4.6 Перевірка адекватності математичних моделей елементів, підсистем і системи управління експлуатаційною ефективністю транспортних засобів

Адекватність окремих залежностей математичної моделі, що описують процеси енергоустановки в різних режимах роботи, перевірено у п. 4.2.

Для перевірки адекватності моделювання показників КТЗ у визначених умовах руху в їздовому циклі здійснено порівняння залежностей витрат енергії та концентрацій шкідливих речовин, отриманих експериментально та з використанням математичної моделі (рис. 4.16-4.21) для КТЗ KIA CEED під час його руху в їздовому циклі ЄЕК ООН № 83 [163].

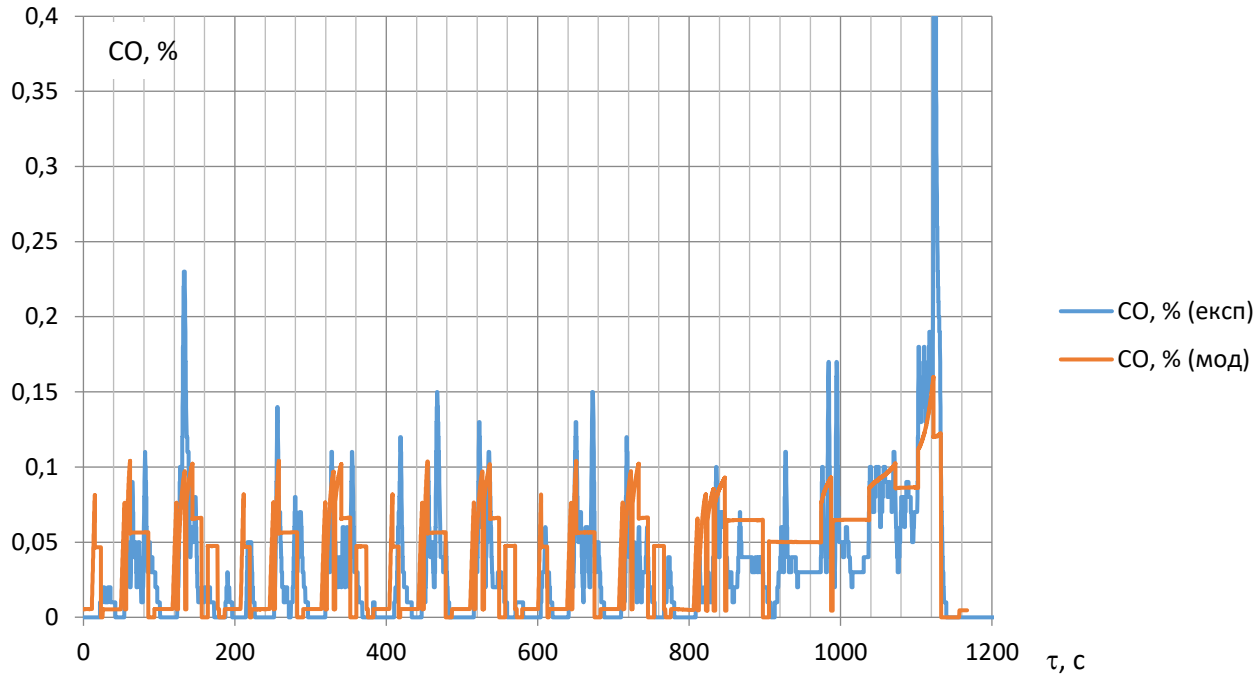


Рисунок 4.16 – Результати перевірки адекватності моделювання концентрацій CO у розбавлених ВГ КТЗ KIA CEED під час руху у їздовому циклі

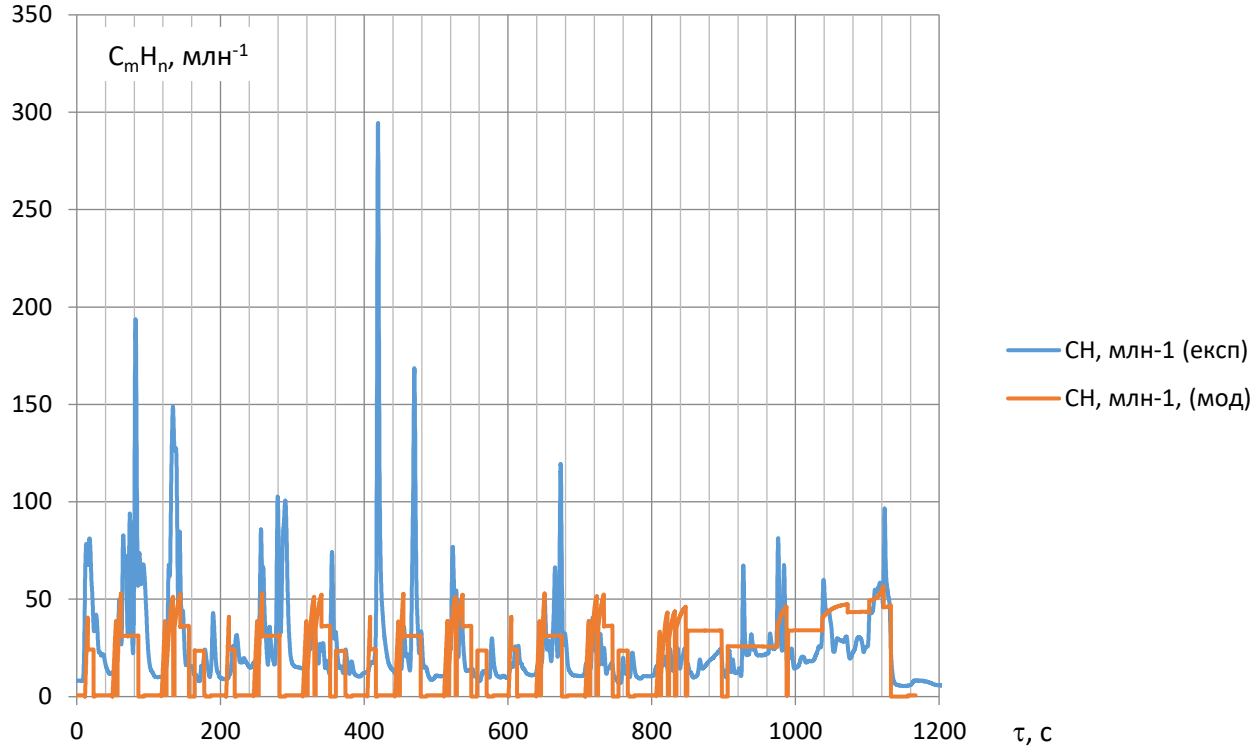


Рисунок 4.17 – Результати перевірки адекватності моделювання концентрацій C_mH_n у розбавлених ВГ КТЗ KIA CEED під час руху у їздовому циклі

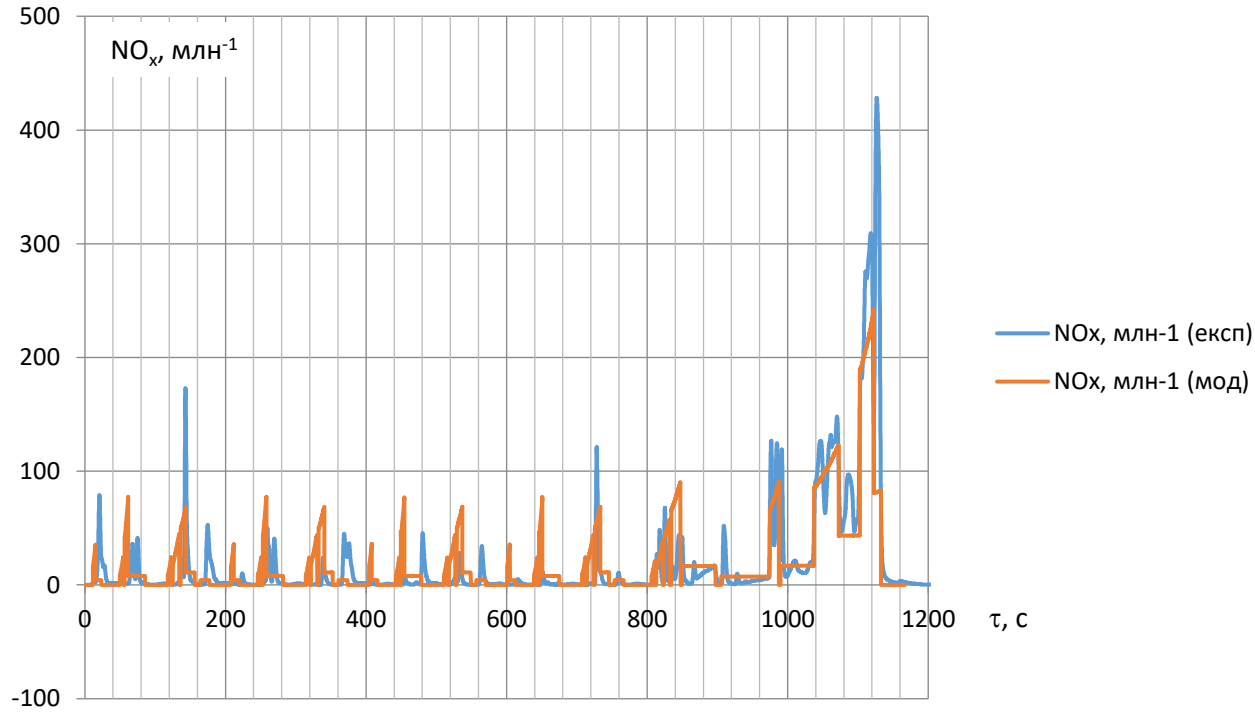


Рисунок 4.18 – Результати перевірки адекватності моделювання концентрацій NO_x у розбавлених ВГ КТЗ KIA CEED під час руху у їздовому циклі

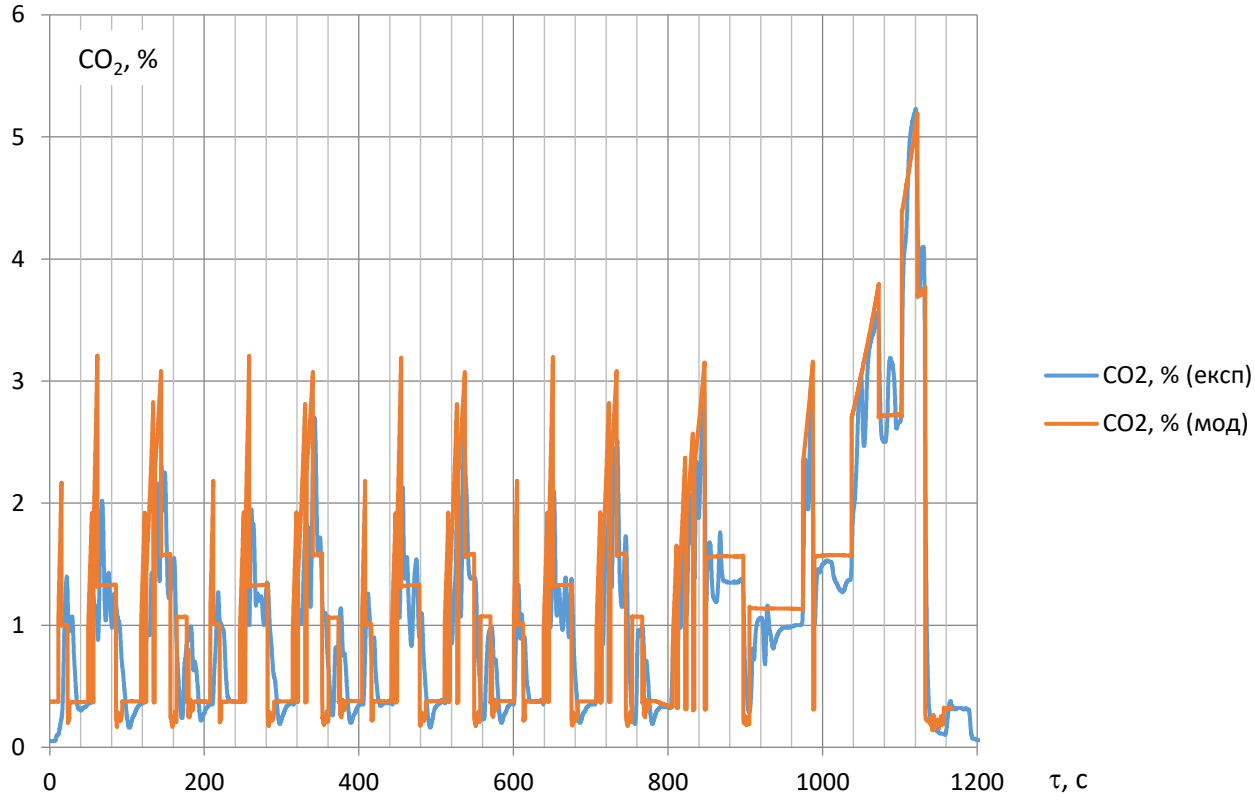


Рисунок 4.19 – Результати перевірки адекватності моделювання концентрацій CO_2 у розбавлених ВГ КТЗ KIA CEED під час руху у їздовому циклі

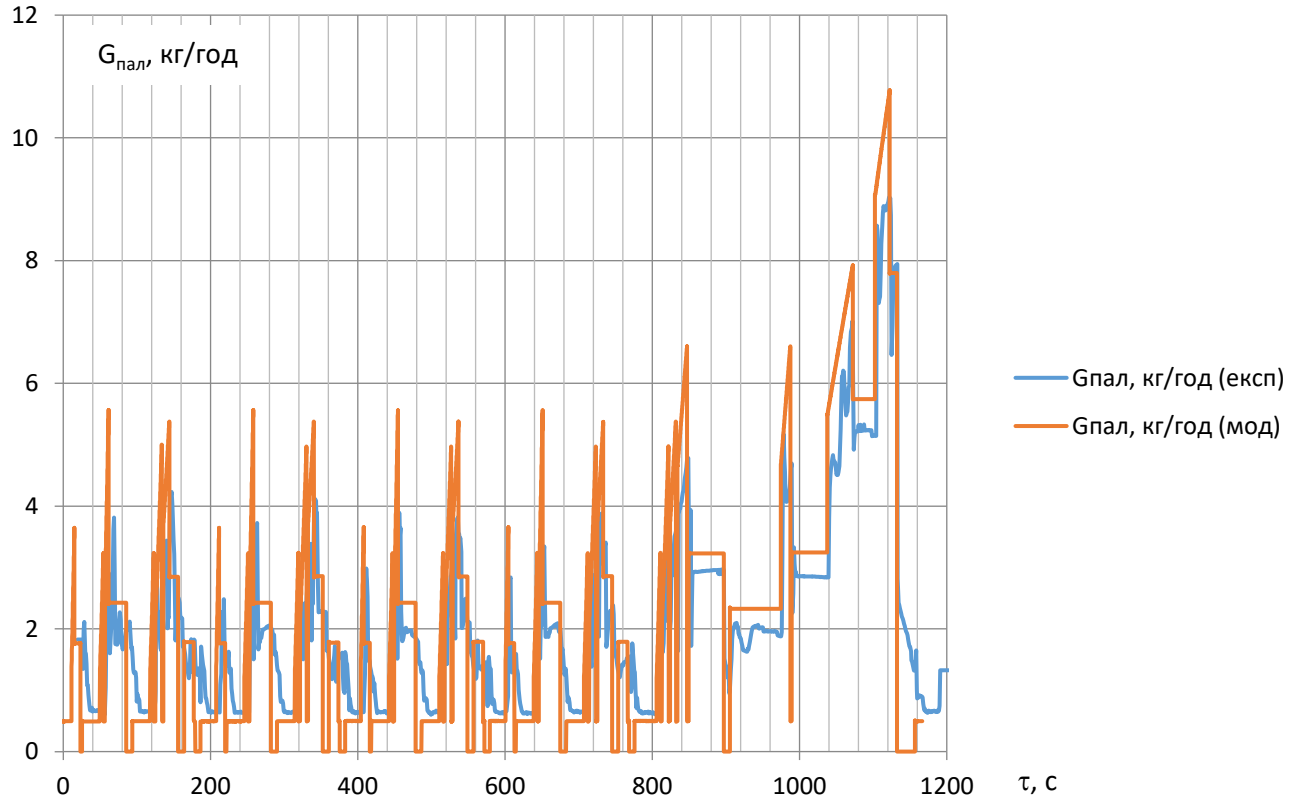


Рисунок 4.20 – Результати перевірки адекватності моделювання поточної годинної витрати палива КТЗ KIA CEED під час руху у їздовому циклі

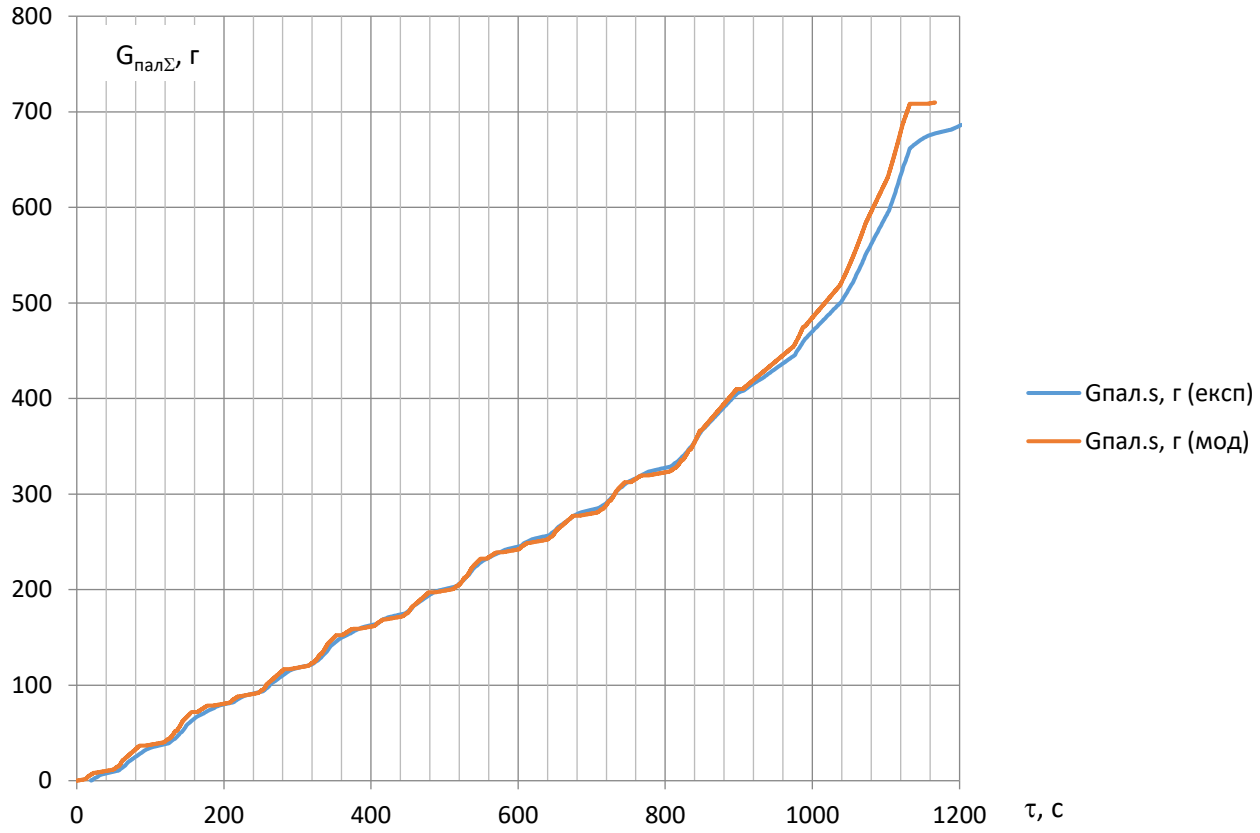


Рисунок 4.21 – Результати перевірки адекватності моделювання поточної сумарної витрати палива КТЗ KIA CEED під час руху у їздовому циклі

Як показують результати перевірки адекватності, спостерігається достатня збіжність результатів експериментальних вимірювань концентрацій ШР у потоці розбавлених ВГ, витрати палива зі змодельованими значеннями цих параметрів. Окремі відхилення виміряних і змодельованих параметрів пояснюються особливостями проведення експерименту, похибкою вимірювання, інерційністю вимірювальної системи. Загальна похибка математичного моделювання, визначена за величиною сумарної за цикл витрати палива складає 3,4% (686,3 г палива виміряно експериментально та 709,8 г палива змодельовано), що свідчить про достатньо високу адекватність математичної моделі.

Висновки до розділу 4

1. Для дослідження впливу різних варіантів комплектації телематичного забезпечення КТЗ та інфраструктурного середовища на експлуатаційну ефективність КТЗ відповідно до запропонованих динамічного, економічного та екологічного критеріїв було розроблено укрупнену структуру математичної моделі. Модель описує основні процеси системи, їх вхідні величини та вихідні показники, зворотні зв’язки за допомогою функціональних залежностей та цільових функцій, що враховують конструктивні параметри КТЗ, умови навколишнього і дорожнього середовища їх експлуатації, технічний стан елементів КТЗ та цільові значення критеріїв ефективності, в залежності від яких визначаються параметри управління основними процесами та реалізується швидкісний закон руху КТЗ на маршруті.

2. В рамках укрупненої структури математичної моделі системи «КТЗ-Інфраструктура» розроблено алгоритми моделювання окремих її підсистем, зокрема, енергоустановки, КТЗ, інфраструктури, зворотних зв’язків для управління параметрами системи.

3. Алгоритм моделювання процесів ЕУ дозволяє встановити значення індикаторного або ефективного крутного моменту двигуна, питомі витрати енергії та викиди шкідливих речовин на одиницю виконаної роботи ЕУ в залежності від частоти обертання валу двигуна та положення важеля управління ЕУ з урахуванням особливостей внутрішніх процесів ЕУ, зокрема, зміни навантаження при зміні положення важеля управління, зміни механічних втрат при зміні температури охолоджуючої рідини та інтенсивності роботи теплового акумулятора, зміни ефективності роботи системи нейтралізації при зміні термохімічних умов на поверхні активного шару нейтралізатора.

4. Алгоритм моделювання процесів КТЗ враховує попередньо визначені показники ЕУ, конструктивні параметри ЕУ, трансмісії та ходової частини КТЗ, параметри впливу інфраструктурного середовища, які визначені за окремим алгоритмом, та дозволяє розрахувати поточні значення швидкості і прискорення КТЗ. При цьому, враховуються динамічні характеристики зміни управляючих

параметрів ЕУ і трансмісії, зокрема, положення важеля управління та передаточного числа трансмісії КТЗ, в залежності від яких здійснюється моделювання швидкісних параметрів двигуна і КТЗ.

5. Алгоритм моделювання процесів підсистеми «Інфраструктура» дозволяє визначити максимально можливу швидкість КТЗ в даних інфраструктурних умовах в залежності від параметрів навколишнього середовища та поточних дорожніх умов для забезпечення мінімальних значень витрати енергії, викидів ШР, часу руху.

6. Алгоритм моделювання зворотних зв’язків дозволяє визначати окремі параметри управління, зокрема, інтенсивність роботи насосу теплового акумулятора охолоджуючої рідини для підтримання теплового стану ЕУ, положення важеля управління ЕУ, передаточне число трансмісії КТЗ, для досягнення мінімальних витрат енергії, викидів ШР та максимально можливої швидкості руху КТЗ.

7. Перевірка адекватності окремих залежностей і математичної моделі в цілому свідчить про її достатню адекватність. Загальна похибка математичного моделювання, визначена за величиною сумарної за їздовий цикл витрати палива КТЗ складає 3,4%.

РОЗДІЛ 5
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КТЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ТЕЛЕМАТИКИ

5.1 Мета і програма експериментальних досліджень

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

Програма експериментальних досліджень включала:

- дослідження системи забезпечення оптимального технічного (теплового) стану енергоустановки КТЗ;

- дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ, обладнаних різними системами живлення, управління та з використанням різних палив, під час стендових випробувань;

- дослідження динамічних та економічних показників КТЗ в умовах експлуатації, під час руху на реальному маршруті.

Дослідження системи забезпечення оптимального технічного (теплового) стану енергоустановки КТЗ включали:

- визначення часу прогріву двигуна від температури навколишнього середовища -20 °С; 0 °С; 20 °С до температури 50 °С при різних варіантах комплектації та управління системи додаткового прогріву;

- визначення часу прогріву двигуна від температури 50 °С до температури 85 °С за температур навколишнього середовища -20 °С; 0 °С; 20 °С при різних варіантах комплектації та управління системи додаткового прогріву;

- визначення часу підтримання температури охолоджуючої рідини двигуна на рівні не менше 50 °С за температур навколишнього середовища -20 °С; 0 °С; 20 °С при різних варіантах комплектації та управління системи додаткового прогріву.

Стендові випробування здійснювались у таких режимах:

- визначення навантажувальних характеристик двигуна за частотами обертання колінчастого валу двигуна 1200 хв$^{-1}$, 1800 хв$^{-1}$, 2400 хв$^{-1}$, 3000 хв$^{-1}$, 4000 хв$^{-1}$;

- визначення швидкісних характеристик холостого ходу двигуна в діапазоні частот обертання від мінімальної до 4000 хв$^{-1}$ (включаючи частоти обертання 1200 хв$^{-1}$, 1800 хв$^{-1}$, 2400 хв$^{-1}$, 3000 хв$^{-1}$);

- визначення економічних та екологічних показників КТЗ під час випробування типу I згідно з Правилами ООН № 83-05.

Дослідження динамічних та економічних показників КТЗ в умовах експлуатації, під час руху на реальному маршруті включали:

- визначення ефективності експлуатації КТЗ на визначеному маршруті за динамічним критерієм (швидкість КТЗ);

- визначення ефективності експлуатації КТЗ на визначеному маршруті за економічним критерієм в різних режимах руху.

5.2 Об’єкти і методики експериментальних досліджень

Об’єктом експериментальних досліджень системи забезпечення оптимального технічного (теплового) стану енергоустановки був вантажний КТЗ ГАЗ-66-11 з двигуном 8Ч 9,2/8 (рис. 5.1, а).

Об’єктами експериментальних досліджень динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ, обладнаних різними системами живлення, управління та з використанням різних палив, під час стендових випробувань, були КТЗ KIA CEED (рис. 5.1, б) та ВАЗ21101 (рис. 5.1, в).

Об’єктом експериментальних досліджень динамічних та економічних показників в умовах експлуатації, під час руху на реальному маршруті, був вантажний КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS (рис. 5.1, г).

а

б

в

г

Рисунок 5.1 – Об’єкти експериментальних досліджень: а – КТЗ ГАЗ-66-11; б – КТЗ KIA CEED; в – КТЗ ВАЗ21101; г – КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS

Короткі технічні характеристики КТЗ наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Короткі технічні характеристики КТЗ – об'єктів експериментальних досліджень

КТЗ / Назва параметру	ГАЗ-66-11	KIA CEED	ВАЗ-21101	Mercedes-Benz Actros 1845 LS
Повна маса, кг	5770	1770	1480	18000
Споряджена маса, кг	3440	1770	1100	8277
Колісна формула	4х4	4х2	4х2	4х2
Літраж двигуна, л	4,25	1,975	1,596	12,809
Позначення та компоновка двигуна	8Ч 9,2/8 V	4Ч 8,2/9,35 Р	4Ч 8,2/7,56 Р	6ЧН 13,2/15,6 Р
Ступінь стискання	7,6	10,1	9,8	17,3

Продовження табл. 5.1

Потужність, кВт / частота обертання, хв$^{-1}$	88,5 / 3200	105 / 6000	59 / 5200	330 / 1800
Крутний момент, Нм / частота обертання, хв$^{-1}$	254,5 / 2000-2500	186 / 4600	120 / 2700	2200 / 1100
Система подачі палива	карбюратор	розподілене впорскування у впускний колектор	розподілене впорскування у впускний колектор	система Common Rail
Система очистки ВГ	-	Триком-понентний каталітичний нейтралізатор	Триком-понентний каталітичний нейтралізатор	Рециркуляція ВГ, селективний нейтралізатор оксидів азоту з впорскуванням розчину AdBlue, фільтр твердих частинок дизеля
Число передач трансмісії	8	5	5	12
Екологічний клас	–	Євро-4	Євро-2	Євро-6
Вид палива	бензин	бензин, ЗНГ	бензин, Е-40	дизельне

Методика експериментальних досліджень КТЗ ГАЗ-66-11 передбачала вимірювання часу прогріву двигуна до визначених температур та часу підтримання визначеного теплового стану при непрацюючому двигуні з фіксуванням температури охолоджуючої рідини датчиками температури для випадків обладнання двигуна штатною системою охолодження та штатною системою з підсистемою додаткового прогріву з тепловим акумулятором у різних температурних умовах навколишнього середовища. Прогрів до 50 °С здійснювався у режимі холостого ходу, а від 50 °С до 85 °С – в процесі руху.

Методика експериментальних досліджень КТЗ KIA CEED та ВАЗ21101 передбачала стендові випробування у різних швидкісних і навантажувальних режимах, режимі холостого ходу та під час руху в умовному їздовому циклі із визначенням параметрів системи управління двигуном, витрати палива, викидів шкідливих речовин, умовної швидкості руху, тягового зусилля на біговому барабані. Відповідно до програми випробування передбачалося почергове визначення показників при роботі двигунів КТЗ на бензині, ЗНГ та спиртовмісному паливі Е-40. Кількість замірів на кожному з палив визначалась статистично обґрунтованою виборкою результатів. Ці експериментальні дослідження було проведено в рамках

виконання спільної НДР НТУ та ДП «ДержавтотрансНДІпроект» «Експериментальні дослідження впливу застосування зрідженого нафтового газу (ЗНГ) і бензину, як моторних палив, на екологічні, енергетичні показники та паливну економічність КТЗ, переобладнаних для роботи на ЗНГ, з проведенням стендових випробувань КТЗ та реєстрацією потоку даних від бортової системи діагностування» відповідно до плану НД і ДКР [164].

Методика експериментальних досліджень КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS передбачала дорожні випробування в умовах дійсного маршруту із фіксуванням параметрів режиму роботи ЕУ, режиму руху та географічних координат КТЗ, витрати палива, часу та фізичних параметрів водія.

5.3 Експериментальні установки

Загальна схема експериментальної установки, під час експериментальних досліджень КТЗ ГАЗ-66-11 [165], представлена на рис. 5.2.

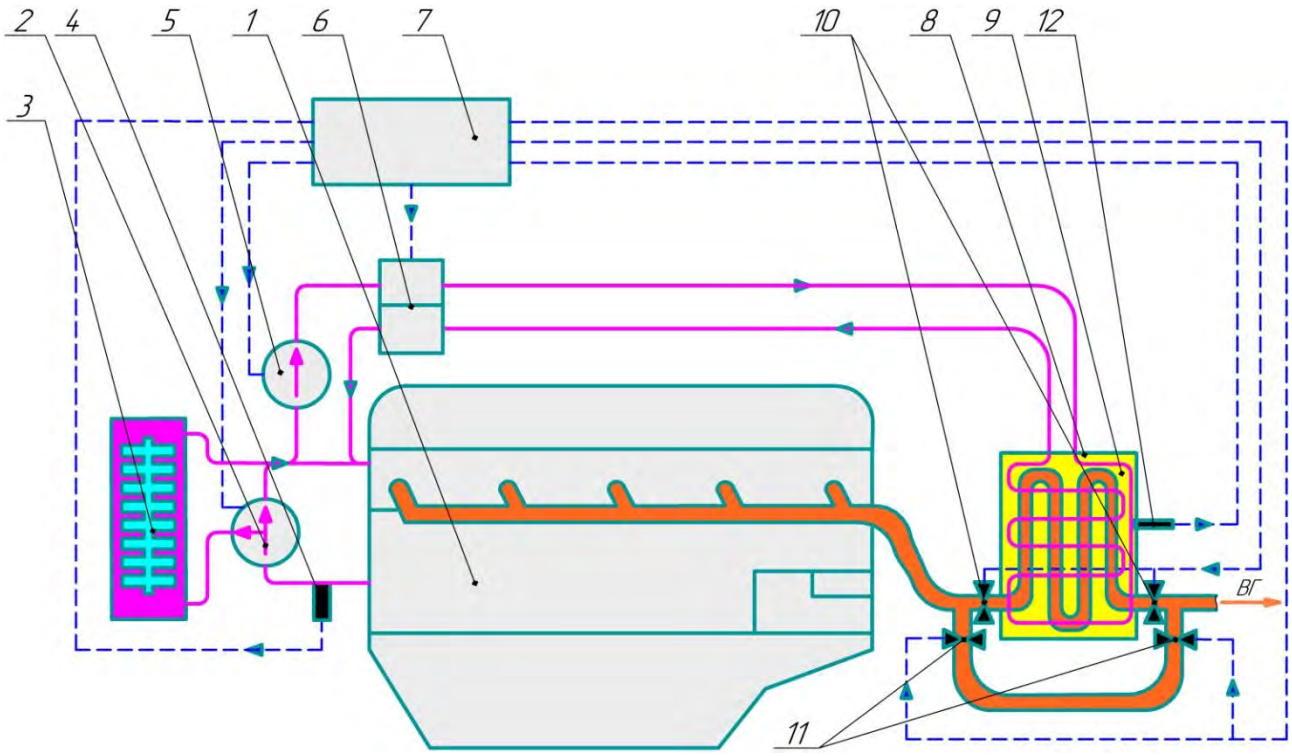


Рисунок 5.2 – Схема експериментальної установки під час експериментальних досліджень КТЗ ГАЗ-66-11

До складу установки входять наступні елементи [166]: двигун 1, електричний насос для охолоджуючої рідини з модульованою подачею та клапанами напрямку руху рідии з електронним управлінням 2, радіатор 3, датчик температури охолоджуючої рідини на виході з двигуна 4, електричний насос для охолоджуючої рідини з модульованою подачею до теплового акумулятора (ТА) 5, клапан подачі охолоджуючої рідини до ТА з електронним управлінням 6, електронний блок управління 7, ТА 8, теплоакумулюючий матеріал 9, клапани подачі ВГ до ТА 10, клапани байпасу ВГ 11, датчик температури теплоакумулюючого матеріалу 12.

Технічна характеристика ТА [202], що використовувався під час експериментальних досліджень, представлена в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Технічна характеристика ТА

Найменування	Характеристика
Теплоакумулюючий матеріал з властивостями:	поліетилен високої густини
Густина, кг/м^3, $\rho_{тв}$ / $\rho_р$	925 / 800
Температура фазового переходу, К	408
Питома теплова енергія фазового переходу, кДж/кг	230
Питома теплоємкість, кДж/(кг·К), $C_{тв}$ / $C_р$	2,5 / 3,3
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), $\lambda_{тв}$ / $\lambda_р$	0,25 / 0,04
Маса теплоакумулюючого матеріалу, кг	18,5
Маса теплового акумулятора з ТАМ, кг	32,75
Габаритні розміри ТА, мм	164х280х480
Теплоізолюючий матеріал	подвійний спінений поліетилен, покритий з обох боків двома шарами алюмінієвої фольги
Матеріал корпуса ТА	нержавіюча сталь
Матеріал теплообмінника ТА	Латунь
Теплова ємкість ТА, кДж/К	46,25

Робота установки здійснювалась наступним чином [166]. Під час досліджень штатної системи охолодження (на рис.5.2 представлено двигун 1 та радіатор 3) для контролю температури охолоджуючої рідини використовувався датчик температури на виході з двигуна 4 та прилад для вимірювання часу.

Під час досліджень управління інтенсивністю та напрямком прокачування рідини для підвищення ефективності штатної системи охолодження, у доповнення до вказаних вище елементів, використовувався електричний насос для охолоджуючої рідини з модульованою подачею і клапанами напрямку руху рідии з електронним управлінням 2 та електронний блок управління 7. Насос 2 здійснював подачу охолоджуючої рідини з різною інтенсивністю по малому або великому колу системи охолодження (без прокачування та з прокачуванням через радіатор 3 відповідно) відповідно до інтенсивності зростання температури на виході з двигуна. Підбір оптимальних параметрів управління насосом 2 здійснював електронний блок 7.

Під час досліджень ефективності використання теплового акумулятора для прискорення прогріву охолоджуючої рідини установка була доповнена електричним насосом 5 та клапаном 6 охолоджуючої рідини, тепловим акумулятором 8, клапанами ВГ 10 та 11, датчиком температури теплоакумулюючого матеріалу 12.

В залежності від сигналу температури охолоджуючої рідини на виході з двигуна електронний блок 7 відкривав клапан 6 та вмикав з певною інтенсивністю електричний насос 5, який здійснював покачування охолоджуючої рідини через тепловий акумулятор 8. В залежності від температури теплоакумулюючого матеріалу електронний блок 7 також здійснював управління заряджанням теплового акумулятора шляхом перепуску через нього ВГ за допомогою клапанів 10 та 11.

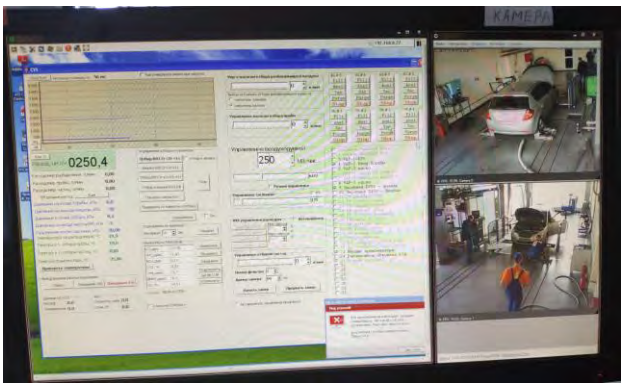
Для стендових випробувань КТЗ KIA CEED та ВАЗ21101 експериментальні установки було змонтовано у ДП «ДержавтотрансНДІпроект». Перед випробовуваннями КТЗ у технічно справному стані та підготовлені до підключення вимірювального обладнання, а також бензин, зріджений нафтовий газ (ЗНГ) та спиртовмісне паливо Е-40 у кількості, необхідній для проведення випробувань, були розміщені у Лабораторії дослідження використання палив та екології.

Підготовка КТЗ до випробовувань включала: встановлення на роликовий стенд, підключення до випускної системи КТЗ стендової системи відводу відпрацьованих газів, підключення до паливних систем двигунів витратомірів палива, підготовку вимірювального устаткування.

Під час випробувань визначались наступні параметри: ефективна потужність на ведучих колесах $N_{ек}$, кВт; масова годинна витрата палива $G_{пал}$, кг/год; питома витрата палива g_e, г/кВт·год; об'ємні концентрації CO та CO_2 у ВГ (методом інфрачервоної спектроскопії), %; об'ємна концентрація сумарних C_mH_n у ВГ (методом полум′яно-іонізаційного допалювання), млн$^{-1}$; об'ємна концентрація NO_x у ВГ (хемілюмінесцентним методом), млн$^{-1}$; частота обертання колінчастого вала ДВЗ $n_д$, хв$^{-1}$; швидкість КТЗ V_a, км/год; температура моторної оливи $t_{ол}$, °С; температура палива $t_{пал}$, °С; температура повітря $t_{пов}$, °С; атмосферний тиск $P_{атм}$, кПа; відносна вологість повітря $\varphi_{пов}$, %; запис параметрів системи OBD (залежно від комплектації системи управління КТЗ) у файли даних.

Основні компоненти експериментального обладнання лабораторії, використаного під час стендових випробувань КТЗ, показано на рис. 5.3.

Для організації процесу запису потоку даних від системи діагностування стандарту OBD II було використано експериментальні робочі версії елементів інтелектуального програмного комплексу (ІПК), розробленого за участі науковців Національного транспортного університету, захищеного відповідними документами інтелектуальної власності [167-172] та використаного під час наукових досліджень експлуатаційної ефективності КТЗ, у тому числі, і в рамках даної роботи [33, 50, 56-61, 65, 70, 77, 173-187]. ІПК дозволяє здійснювати збір поточних робочих параметрів системи управління КТЗ та передавати отримані дані до віддаленого пристрою для подальшого аналізу. Структурна схема ІПК показана на рис. 5.4.



а

б

в

г

д

е

Рисунок 5.3 – Лабораторне обладнання для стендових випробувань КТЗ: а – комп’ютерна програма управління процесом випробувань; б – прилад для вимірювання витрати палива; в – система відбору ВГ; г – блок пробопідготовки системи CVS; д – мішки для відбору проб ВГ; е – газоаналізатор для поточного контролю вмісту шкідливих речовин у ВГ

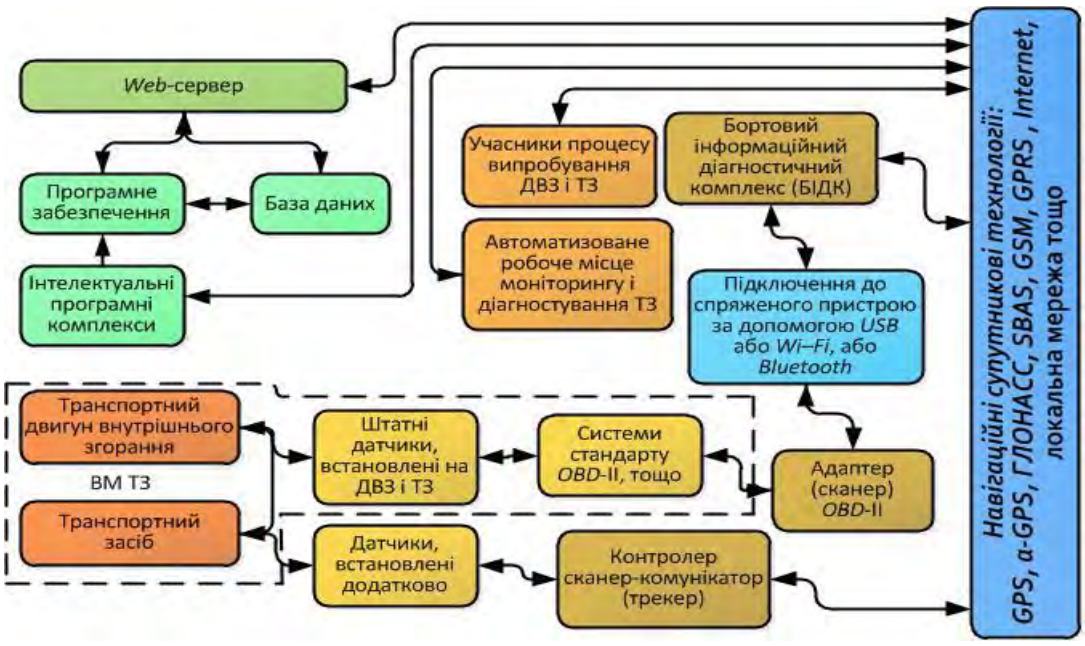


Рисунок 5.4 – Структурна схема ІПК для збору та аналізу поточних робочих параметрів системи управління КТЗ

ІПК містить КТЗ з двигуном і каталітичним нейтралізатором, як об’єкти моніторингу, штатні та додаткові датчики, систему стандарту *OBD*-II й адаптер *OBD*-II з *USB* або *Wi–Fi* або *Bluetooth* інтерфейсом, контролер сканер-комунікатор (трекер), інформаційний пристрій, підключений до системи *OBD*-II. ІПК підключається, за допомогою засобів мережевого зв’язку, до віддалених учасників випробування КТЗ, автоматизованого робочого місця або *Web*-сервера. *Web*-сервер містить відповідне програмне забезпечення базу даних та інші ІПК, які дозволяють здійснювати аналіз робочих параметрів КТЗ з використанням ймовірнісних математичних моделей. Внутрішня мережа КТЗ показана пунктиром. Функціональні можливості ІПК для проведення дослідження, взаємодія його елементів й особливості інформаційного обміну між елементами для здійснення дистанційного моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану та управління КТЗ описані в [33, 50, 65].

Принцип функціонування ІПК заснований на можливості визначення фактичних технічних параметрів стану КТЗ та ЕУ, а також місця розташування і часу за допомогою навігаційних супутникових систем та обміну цією інформацією з віддаленим автоматизованим робочим місцем управління експлуатацією КТЗ.

Для запису потоку даних системи управління КТЗ KIA CEED під час стендових випробувань використовувалась експериментальна робоча версія елементів ІПК, показана на рис. 5.5.

а б

Рисунок 5.5 – Елементи ІПК на КТЗ KIA CEED: а – адаптер системи *OBD*-II Scanmaster ELM327, при підключенні до роз’єму *OBD*-II КТЗ; б – інформаційний пристрій в салоні КТЗ

Для запису потоку даних системи OBD КТЗ ВАЗ21101 застосовано експериментальну робочу версію елементів ІПК, показану на рис. 5.6.

Під час безпосереднього вимірювання параметрів системи управління КТЗ, за допомогою даної експериментальної робочої версії елементів ІПК, визначаються наступні показники: температура охолоджуючої рідини $t_{ох}$, ступінь відкриття дросельної заслінки $\varphi_{др}$, частота обертання колінчастого валу двигуна $n_д$, кут випередження запалювання θ, швидкість КТЗ V_a, напруга і стан датчика кисню $U_{дк}$, час впорскування палива $\tau_{впр}$, годинна масова витрата повітря $G_{пов}$, коефіцієнт корекції подачі палива $k_{кор}$, годинна об’ємна витрата палива $G_{пал}$, режими руху КТЗ та поточні технічні несправності, координати географічного місцезнаходження КТЗ.

а б

Рисунок 5.6 – Елементи ІПК для запису потоку даних OBD КТЗ ВАЗ21101: а – інформаційний пристрій; б – адаптер з коннектором для підключення до OBD

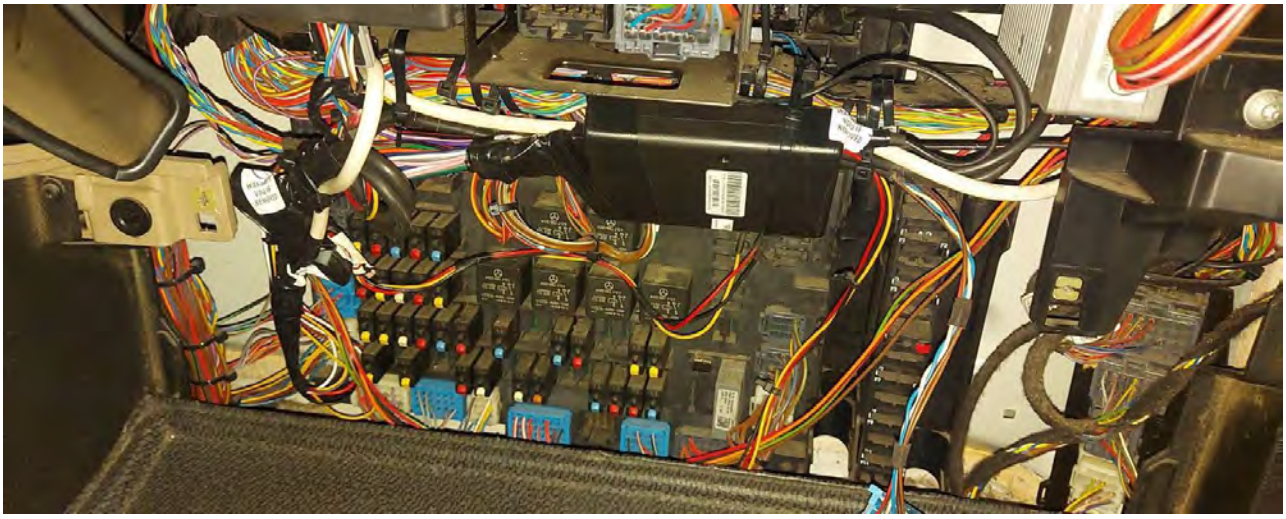
Для проведення експериментальних досліджень, в умовах експлуатації КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS, було обладнано ІПК на базі трекера Ruptela FM-Tco4 HCV / HCV 3G, підключеного до системи OBD та смарт-тахографу КТЗ і до системи геопозиціонування GPS та до зовнішнього сервера накопичення й обробки даних за допомогою мережі 3G. Загальний вигляд елементів ІПК, встановлених в КТЗ, представлено на рис. 5.7.

В процесі експериментальних досліджень КТЗ в умовах експлуатації здійснювався збір й аналіз наступних параметрів: дати і часу, географічних координат КТЗ, швидкості КТЗ, шляху руху, температури охолоджуючої рідини, витрати палива, частоти обертання колінчастого валу двигуна, стану водія (додаток В).

Основні технічні характеристики експериментального обладнання, використаного під час експериментальних досліджень системи забезпечення оптимального теплового стану ЕУ, стендових випробувань та експериментальних досліджень КТЗ в умовах експлуатації, наведено в табл. 5.3.

а

б



в

Рисунок 5.7 – Елементи ІПК в КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS: а – трекер Ruptela FM-Tco4 HCV / HCV 3G; б – смарт-тахограф; в – підключення трекера до внутрішньої мережі КТЗ

Таблиця 5.3 – Характеристики експериментального обладнання

Назва устаткування	Вимірюваний параметр	Межі та похибки вимірювання
Стенд моделюючий роликовий AVL, тип RPL 1220 / 12 C 23 M 17 / APM 150 (Німеччина, AVL Zöllner GMBH), Зав. № R-1305, Інв. № 5184	Зусилля на поверхні барабана	(-10,0…+ 10,0) кН, ±0,1 % від повної шкали
	Швидкість КТЗ	(0...2) км/год, ±0,1 % від повної шкали (2...200) км/год, ±0,01 % від повної шкали
Універсальная система відбору проб постійного об’єму (CVS) моделі EMMS-CVS-010, Зав. № 001, Інв. № 5345	Об’ємна витрата газу	(0,9…4,5) $м^3$/год, ±2 % від вим. зн.
		(120…2200) $м^3$/год, ±2 % від вим. зн.
Газоаналітична система MEXA-7400DEGR (Японія, Horiba Ltd), Зав. № 4301482001, Інв. № 4440	Вміст CO	(0...0,2) %, ±0,01 % (абс.); (0,2...0,5) %, ±2 % від вим. зн.; (0...0,6) %, ±0,03 % (абс.); (0,6...12) %, ±2 % від вим. зн.

Продовження табл. 5.3

	Вміст CO_2	(0...10) %, ±0,5 % (абс.); (10...20) %, ±2 % від вим. зн.
	Вміст C_mH_n	(0...0,02) %, ±0,001 % (абс.); (0,02...0,5) %, ±2 % від вим. зн.
	Вміст CH_4	(0...0,02) %, ±0,001 % (абс.); (0,02...0,25) %, ±2 % від вим. зн.
	Сумарний вміст NO_x	(0...0,04) %, ±0,002 % (абс.); (0,04...0,5) %, ±2,2 % від вим. зн.
	Вміст O_2	(0...2) %, ±0,1 % (абс.); (2...25) %, ±2,3 % від вим. зн.
Газоаналітичний вимірювальний комплекс BOSCH (з системою аналізу ВГ ESA 3. 250), Зав. № 760336499, Інв. № 3701	Вміст CH	(0...240) млн$^{-1}$, ±12 млн$^{-1}$ (абс.); (240...9999) млн$^{-1}$, ±5 % від вим. зн.
	Вміст CO	(0...2,0) %, ±0,06 % (абс.); (2,0...10,0) %, ±3 % від повної шкали
	Вміст CO_2	(0...10) %, ±0,4 % (абс.); (10...18) %, ±4 % від вим. зн.
	Вміст O_2	(0...3,33) %, ±0,1 % (абс.); (3,33...22) %, ±3 % від вим. зн.
	Температура оливи	(20...+ 150) °C, ±0,1 °C
	Частота обертання колінчастого вала двигуна	(100...12000) хв$^{-1}$
Витратомір палива ONO SOKKI DF-311 (Японія, Ono Sokki Co, Ltd), Зав. № 82349206, Інв. № 311 (із датчиком ONO SOKKI FP-214, Зав. № 0343847, Інв. № 318)	Об’ємна витрата палива	(0,3...120) л/год, ±0,5 % від вим. зн.
Витратомір палива коріолісового типу FlexCOR CMF-EQ0B1AWCJ2100A (США, FCI), Зав. № 237510, Інв. № 4167	Масова витрата палива	(0,3...12) кг/год, ±1 % від вим. зн.; (12...250) кг/год, ±0,5 % від вим. зн.
Термогігрометр TESTO 608 – H2 (Німеччина, “TESTO AG”, BRD), Зав. № 41420331, Інв. № 5591	Відносна вологість повітря	(2… 98) %, ±3 % (абс.)
	Температура повітря	(-10… + 70) °C, ±0,5 °C
Термопара ТХА-410	Температура в системі охолодження, ТА	(0…1500) °C, ±6 °C
Секундомір	Час	(0…24) год, ±0,01 с
ІПК на базі адаптеру системи OBD-II Scanmaster ELM327 з програмним забезпеченням Torque Pro	Час	(0…24) год, ±0,001 с
	Географічні координати	(-90…90) °ш., ±1·10^{-5} °; (-180…180) °д., ±1·10^{-5} °
	Корекція подачі палива	(-100…99,2) %, ±0,78125% (абс.)
	Тиск у впускному колекторі	(0…255) кПа, ±1 кПа

Продовження табл. 5.3

	Коефіцієнт надміру повітря	(0…1,9921875), ±0,00003
	Частота обертання колінчастого валу	(0…16384) $хв^{-1}$, ±1 $хв^{-1}$
	Температура охолоджуючої рідини	(-40…215) °С, ±1 °С
	Швидкість КТЗ	(0…255) км/год, ±1 км/год
	Температура каталітичного нейтралізатора	(-40…6513,5) °С, ±0,1 °С
	Ступінь відкриття дросельної заслінки	(0…100) %, ±0,39 % (абс.)
	Кут випередження запалювання	(-64…63,5) °п.к.в., ±0,5 °п.к.в.
	Об’ємна годинна витрата палива	(0…3212,75) л/год, ±0,001 л/год
ІПК на базі адаптеру системи OBD-II KL-Line з перетворювачем RS-232 – TTL на базі MAX-232 та перетворювачем TTL – WiFi на базі ESP-8266 зі спеціально розробленим програмним забезпеченням	Час	(0…24) год, ±0,001 с
	Географічні координати	(-90…90) °ш., $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ °; (-180…180) °д., $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ °
	Температура охолоджуючої рідини	(-40…215) °С, ±1 °С
	Ступінь відкриття дросельної заслінки	(0…100) %, ±1 % (абс.)
	Частота обертання колінчастого валу	(0…10200) $хв^{-1}$, ±40 $хв^{-1}$
	Коефіцієнт корекції подачі палива	(0,5…1,496), ±0,0039
	Кут випередження запалювання	(-28…99,5) °п.к.в., ±0,5 °п.к.в.
	Швидкість КТЗ	(0…255) км/год, ±1 км/год
	Напруга датчика кисню	(0…1,245) В, ±0,005 В
	Час впорскування палива	(0…524,28) мс, ±0,008 мс
	Годинна масова витрата повітря	(0…6553,5) кг/год, ±0,1 кг/год
	Годинна об’ємна витрата палива	(0…1310,7) л/год, ±0,02 л/год
ІПК на базі трекера Ruptela FM-Tco4 HCV / HCV 3G з підключеннням до системи OBD, смарт-тахографу, GPS та зовнішнього сервера за допомогою мережі 3G	Час	(0…24) год, ±1 с
	Географічні координати	(-90…90) °ш., $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ °; (-180…180) °д., $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ °
	Швидкість КТЗ	(0…255) км/год, ±1 км/год
	Шлях	(0…10^9) м, ±1 м
	Температура охолоджуючої рідини	(-40…215) °С, ±1 °С

Продовження табл. 5.3

	Годинна об’ємна витрата палива	(0…3212,75) л/год, ±0,05 л/год
	Частота обертання колінчастого валу	(0…16384) $хв^{-1}$, ±0,1 $хв^{-1}$
	Стан водія	(0…3)

5.4 Результати експериментальних досліджень

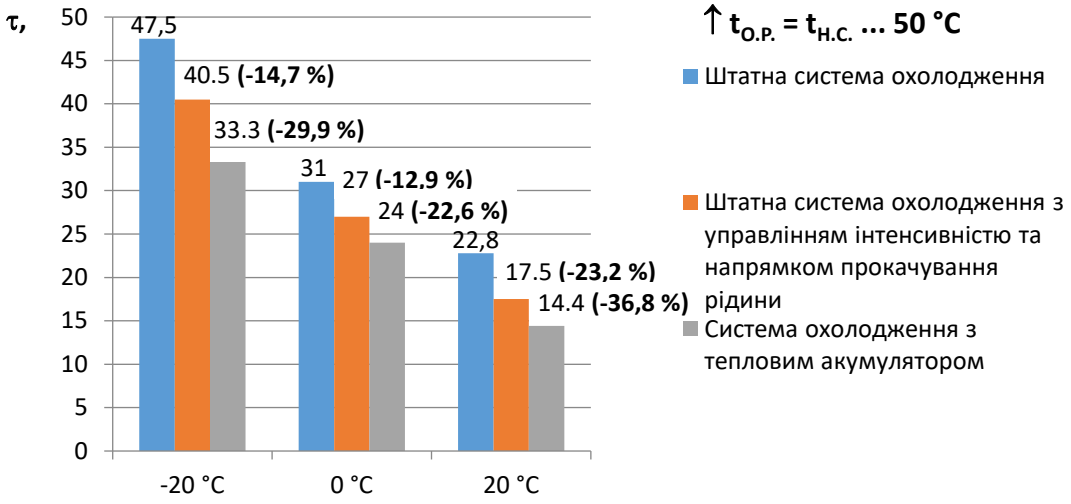
5.4.1 Дослідження системи забезпечення теплового стану ЕУ КТЗ

Результати дослідження системи забезпечення теплового стану ЕУ КТЗ з різними варіантами управління прогрівом охолоджуючої рідини системи охолодження двигуна за різних температур навколишнього середовища представлено на рис. 5.8.

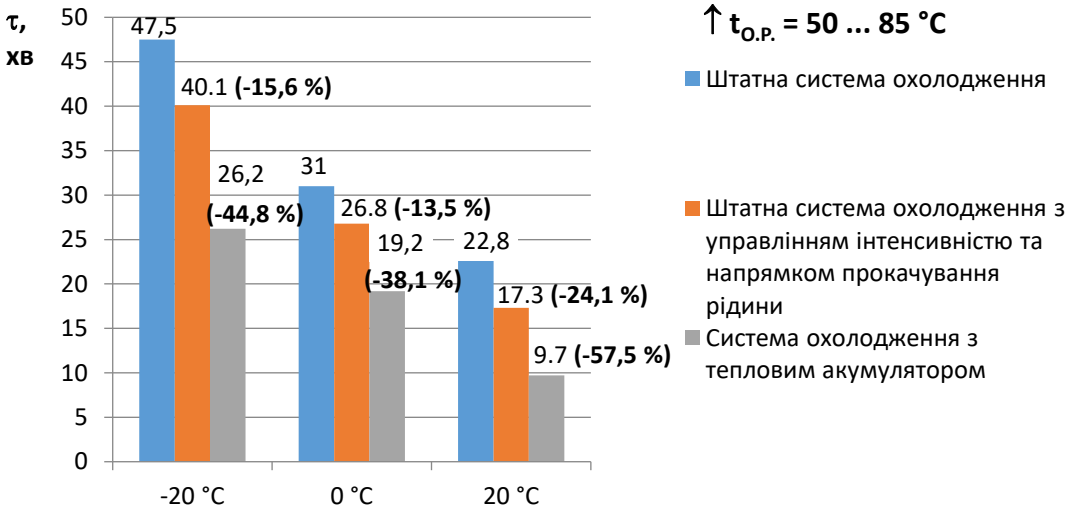
Зокрема, приведено результати порівняння часу прогріву охолоджуючої рідини штатної системи охолодження двигуна з часом прогріву при використанні інтелектуального управління інтенсивністю і напрямком прокачування рідини в штатній системі охолодження та часом прогріву при використанні теплового акумулятора в системі охолодження. Результати представлено для різних діапазонів зміни температури охолоджуючої рідини та різних температур навколишнього середовища.

Як видно із результатів дослідження (рис. 5.8), використання інтелектуального управління інтенсивністю і напрямком прокачування рідини в штатній системі охолодження та теплового акумулятора призводить до суттєвого зменшення часу прогріву охолоджуючої рідини у досліджених умовах.

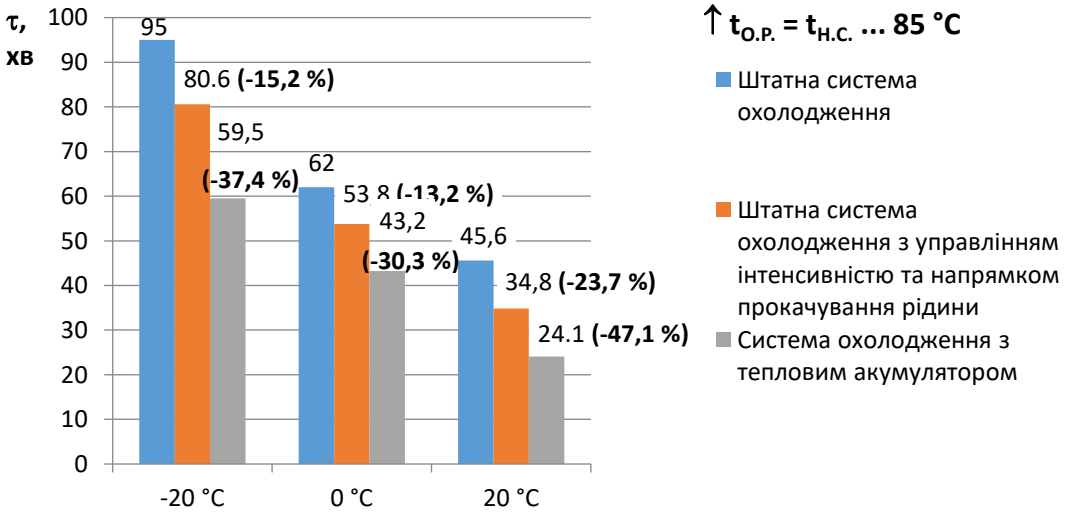
Так, використання інтелектуального управління штатною системою охолодження скорочує час прогріву на 14,7-15,6 % за температури навколишнього середовища -20 °С в залежності від діапазону зміни температури охолоджуючої рідини (до 50 °С або з 50 до 85 °С). За температур навколишнього середовища 0 °С та 20 °С скорочення часу в цьому випадку складає 12,9-13,5 % та 23,2-24,1 % відповідно.



а



б



в

Рисунок 5.8 – Вплив умов навколишнього середовища та способу забезпечення теплового стану ЕУ на час прогріву охолоджуючої рідини двигуна: а – до 50 °С; б – з 50 до 85 °С; в – повного прогріву

Отже, вплив інтелектуального управління штатною системою охолодження на час прогріву практично не змінюється в залежності від діапазону зміни температури охолоджуючої рідини. Разом з тим, прослідковується неоднозначний вплив температури навколишнього середовища на скорочення часу прогріву при використанні даного способу управління тепловим станом ЕУ. Зокрема, ступінь скорочення часу прогріву при 0 °С менша ніж при -20 °С. Тобто, ефект використання інтелектуального управління штатною системою охолодження дещо знижується при підвищенні температури навколишнього середовища. Однак, ступінь скорочення часу прогріву при 20 °С значно більший ніж при 0 °С та -20 °С. В цьому випадку маємо значне підвищення ефекту використання інтелектуального управління штатною системою охолодження при високій температурі навколишнього середовища. В цілому, даний вплив температури навколишнього середовища можна пояснити сукупною дією таких факторів як нелінійна залежність густини, в'язкості та прокачуваності охолоджуючої рідини від температури та залежність інтенсивності теплообміну зовнішніх поверхонь двигуна з навколишнім середовищем від його температури.

Використання теплового акумулятора дозволяє ще більш ефективно управляти тепловим станом ЕУ КТЗ. Так, з результатів дослідження видно, що використання теплового акумулятора скорочує час прогріву на 29,9-44,8 % за температури навколишнього середовища -20 °С в залежності від діапазону зміни температури охолоджуючої рідини, а за температур навколишнього середовища 0 °С та 20 °С таке скорочення складає 22,6-38,1 % та 36,8-57,5 % відповідно.

Таким чином, окрім розглянутої вище тенденції неоднозначного впливу температури навколишнього середовища на скорочення часу прогріву, яка зберігається і при використанні теплового акумулятора, має місце також різна ефективність даного способу управління тепловим саном ЕУ у різних діапазонах зміни температури охолоджуючої рідини. Зокрема, при прогріві у діапазоні температур від 50 °С до 85 °С, який здійснювався уже під час руху КТЗ, ефективність використання теплового акумулятора значно вища ніж при прогріві у до 50 °С (44,8, 38,1 та 57,5 % проти 29,9, 22,6 та 38,1 % для температур навколишнього середовища

-20 °С, 0 °С та 20 °С відповідно). Даний ефект може бути пов’язаний з тим, що під час руху КТЗ значно збільшується кількість теплоти, накопиченої у тепловому акумуляторі, внаслідок суттєвого зростання потоку теплової енергії від ВГ, що передається теплоакумулюючому матеріалу, яке відбувається через інтенсифікацію швидкісного та навантажувального режиму ЕУ. В цілому, використання теплового акумулятора забезпечує скорочення часу повного прогріву двигуна на 37,4, 30,3 та 47,1 % для температур навколишнього середовища -20 °С, 0 °С та 20 °С відповідно, що майже вдвічі перевищує ефективність способу забезпечення теплового стану ЕУ шляхом інтелектуального управління штатною системою охолодження.

Разом з тим, досягнення вказаних показників ефективності використання теплового акумулятора для скорочення часу прогріву двигуна тісно пов’язано з можливістю теплоакумулюючого матеріалу утримувати накопичену теплоту у даному конструктивному виконанні теплового акумулятора після зупинки двигуна під час стоянки КТЗ. Наявність такої можливості теплового акумулятора дозволить зберігати температуру охолоджуючої рідини на рівні достатньому для початку руху КТЗ одразу після пуску двигуна (50 °С) та забезпечувати її швидкий прогрів до робочої температури (85 °С). З метою встановлення наявності такої можливості у розробленого теплового акумулятора було визначено час, протягом якого охолоджуюча рідина в системі охолодження буде мати температуру на рівні не менше ніж 50 °С після зупинки двигуна при різних способах управління тепловим станом ЕУ (рис 5.9).

Як видно із результатів дослідження, застосування теплового акумулятора значно збільшує час підтримання вказаної температури охолоджуючої рідини. Цей час складає 510, 600 та 720 хв порівняно із 20, 40 та 80 хв, коли тепловий акумулятор не застосовується, для температур навколишнього середовища -20 °С, 0 °С та 20 °С відповідно. Крім того, отримані значення часу достатні для забезпечення ефективного використання системи додаткового прогріву з тепловим акумулятором для можливих умов міжзмінного зберігання КТЗ.

Отже, проведені дослідження системи забезпечення теплового стану ЕУ КТЗ свідчать про високу ефективність застосування інтелектуального управління

штатною системою охолодження двигуна та теплового акумулятора для скорочення часу прогріву двигуна в умовах експлуатації. Разом з тим, для оцінювання впливу використання такої системи на ефективність експлуатації КТЗ в цілому, відповідно до розроблених критеріїв, необхідне дослідження впливу системи забезпечення теплового стану ЕУ на економічні та екологічні показники КТЗ.

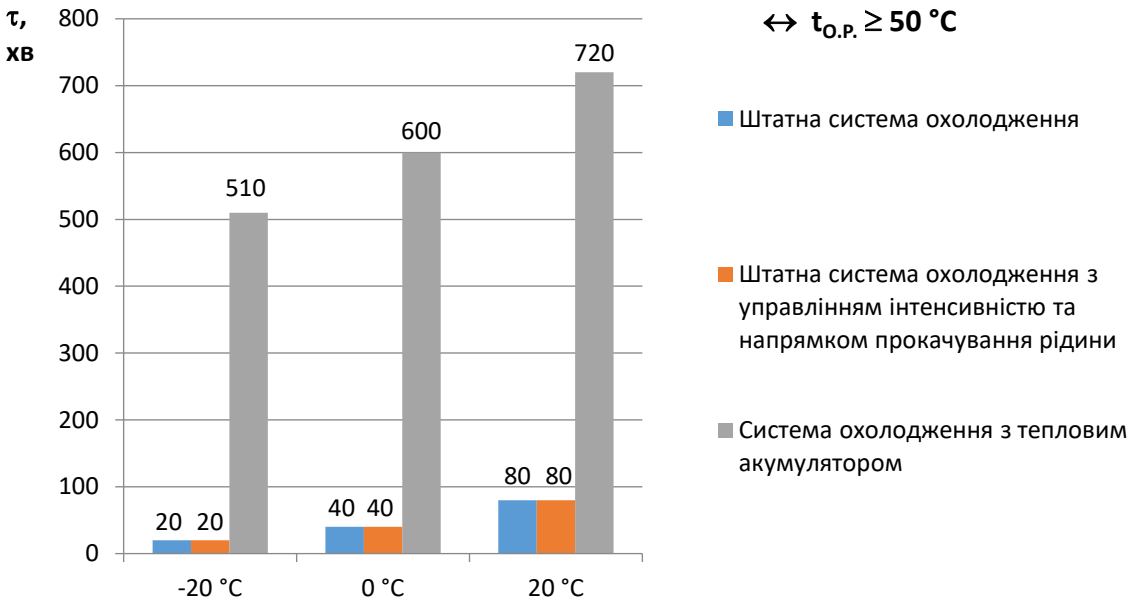


Рисунок 5.9 – Вплив умов навколишнього середовища та способу забезпечення теплового стану ЕУ на час підтримання температури охолоджуючої рідини на рівні не менше ніж 50 °С після зупинки двигуна

5.4.2 Дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ, обладнаних різними системами живлення, управління та з використанням різних палив, під час стендових випробувань

Під час стендових випробувань КТЗ було визначено навантажувальні характеристики двигунів при живленні різними паливами. Під час визначення цих характеристик використовувалось обладнання Лабораторії дослідження використання палив та екології ДП «ДержавтотрансНДІпроект» та бортові ІПК (табл. 5.3). Результати стендових досліджень двигунів КТЗ було використано для побудови поліноміальних моделей ЕУ, які представлено у розділі 4. Окремі результати стендових випробувань представлено на рис. 5.10 – 5.12.

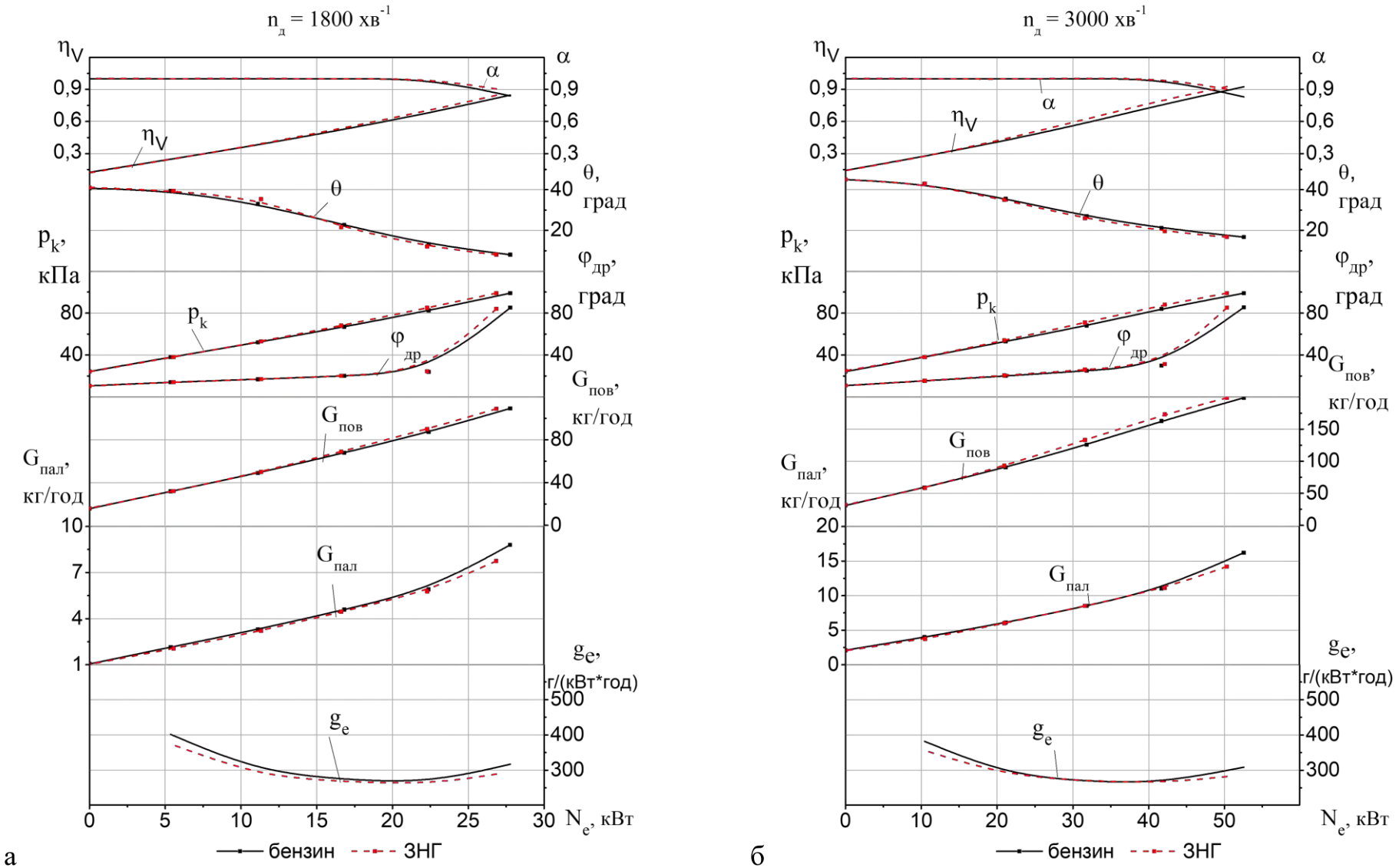


Рисунок 5.10 – Навантажувальні характеристики двигуна КТЗ KIA CEED при живленні різними паливами: енергетичні та паливно-економічні показники при $n_д$ = 1800 хв$^{-1}$ (а) та $n_д$ = 3000 хв$^{-1}$ (б)

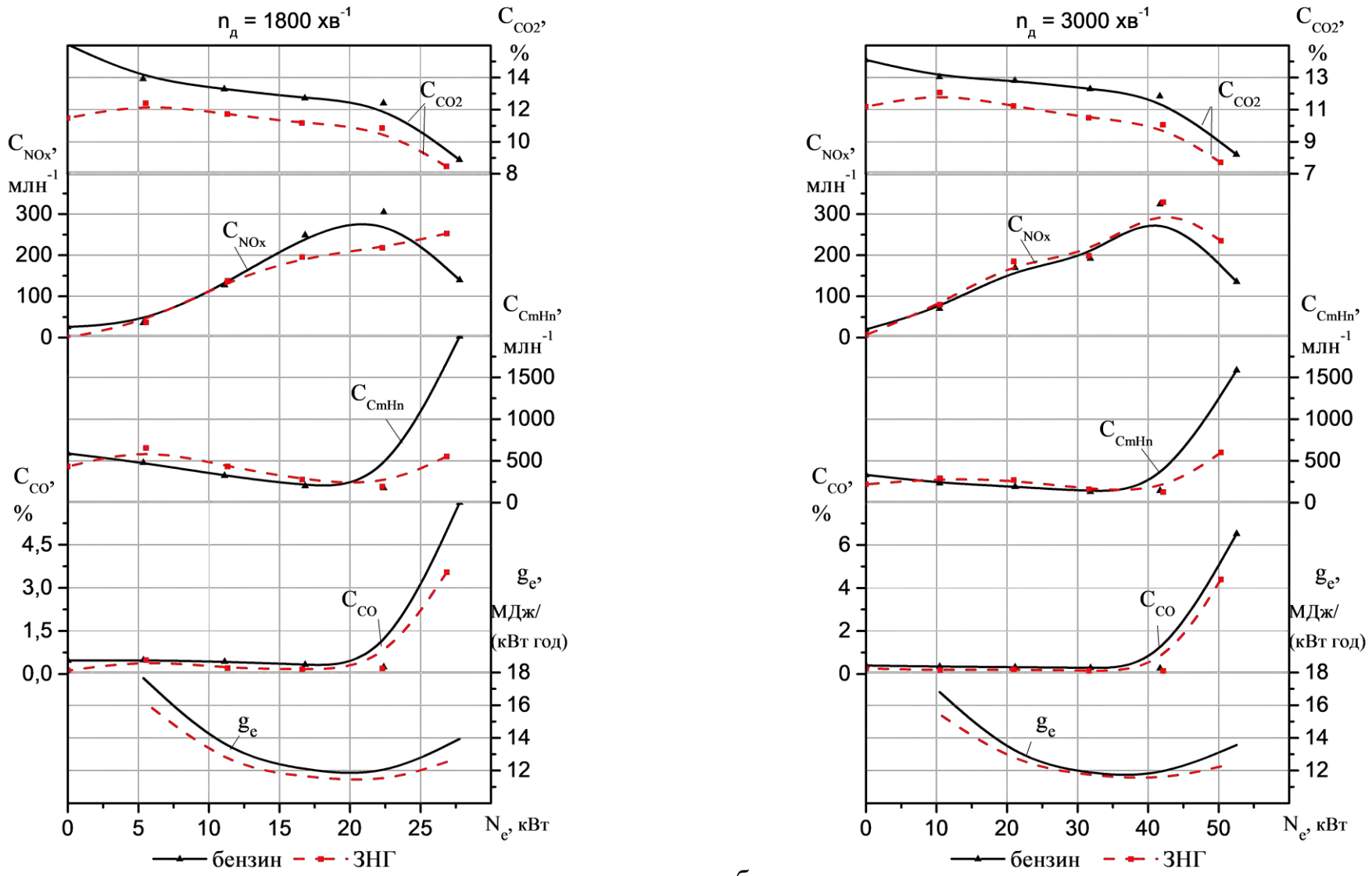


Рисунок 5.11 – Навантажувальні характеристики двигуна КТЗ KIA CEED при живленні різними паливами: концентрації шкідливих речовин та енергоефективність при $n_д$ = 1800 хв$^{-1}$ (а) та $n_д$ = 3000 хв$^{-1}$ (б)

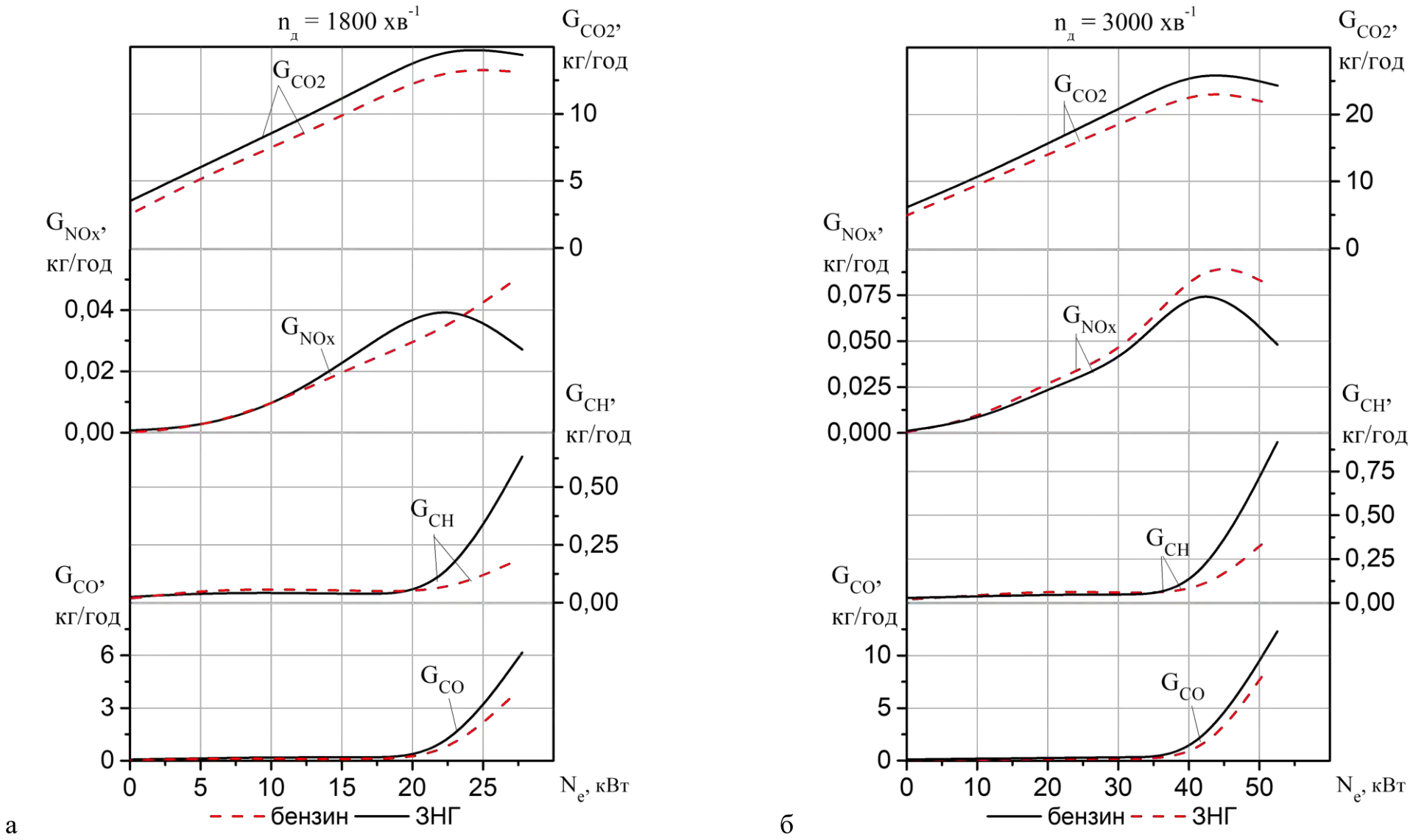


Рисунок 5.12 – Навантажувальні характеристики двигуна КТЗ KIA CEED при живленні різними паливами: масові викиди шкідливих речовин при $n_д$ = 1800 хв$^{-1}$ (а) та $n_д$ = 3000 хв$^{-1}$ (б)

Як видно із представлених залежностей енергетичних та паливно-економічних показників двигуна від навантаження (рис. 5.10), під час використання ЗНГ у якості палива, порівняно з бензином, дещо збільшується витрата повітря при різних навантаженнях. Це пов’язано, в першу чергу, із зміною теоретично необхідної кількості повітря порівняно із роботою двигуна на бензині. Тобто, внаслідок більшої потреби у повітрі при живленні ЗНГ виникає необхідність більшого відкриття дросельної заслінки при тому ж навантаженні. Внаслідок цього збільшується тиск у впускному колекторі та коефіцієнт наповнення циліндра при відповідному навантаженні. При цьому, значення годинної витрати палива при використанні ЗНГ менші ніж при живленні бензином. Це забезпечується обмеженням при регулюванні складу паливоповітряної суміші (необхідність підтримувати $\alpha = 1$) та спричено, очевидно, більш ефективним процесом згоряння. Внаслідок цього питома ефективна витрата палива зменшується при живленні ЗНГ. Особливо цей ефект проявляється у зоні малих та великих навантажень. Разом з тим, при повному відкритті дросельної заслінки спостерігається деяке збіднення паливоповітряної суміші при живленні ЗНГ порівняно із живленням бензином. Очевидно, це є наслідком недостатньої адаптації системи управління двигуном при живленні нестандартним паливом. Результатом такого збіднення є деяке зниження енергетичних показників двигуна при використанні ЗНГ, яке становить 3,5-3,8 %.

Визначення показників енергоефективності двигуна через питому еквівалентну витрату енергії (рис. 5.11) свідчить про більшу ефективність використання ЗНГ для живлення двигуна порівняно із використанням бензину. В середньому ефективність використання палива підвищується на 4,2 - 8,9% в залежності від швидкісного та навантажувального режиму роботи.

Екологічні показники двигуна визначені концентраціями шкідливих речовин у відпрацьованих газах (рис. 5.11) та масовими викидами шкідливих речовин (рис. 5.12). Як видно із представлених результатів дослідження, використання ЗНГ однозначно знижує концентрації CO і CO_2 в усіх представлених режимах роботи двигуна на 10 - 32,7% та 12,5 – 25 % відповідно. Вплив використання ЗНГ на концентрації вуглеводнів та оксидів азоту неоднозначний. В режимах малих

навантажень використання ЗНГ дещо збільшує концентрації цих речовин. При середніх навантаженнях при використанні ЗНГ концентрації вуглеводнів дещо збільшуються ніж при живленні бензином, концентрації оксидів азоту при цьому при частоті обертання 1800 хв$^{-1}$ або не відрізняються або менші ніж при використанні бензину, а при частоті обертання 3000 хв$^{-1}$ дещо перевищують їх. При максимальних навантаженнях концентрації вуглеводнів при використанні ЗНГ зменшуються на 56 – 70,5 %, а концентрації оксидів азоту зростають на 37 – 67 %. В цілому, як свідчать результати вимірювання концентрацій шкідливих речовин на обох паливах досягається певна ефективність нейтралізації цих речовин у каталітичному нейтралізаторі, яка залежить найбільшою мірою від коефіцієнту надміру повітря α. Тобто, в усіх режимах, крім повного навантаження, ефективність нейтралізації майже постійна й однакова для обох палив, а у режимах повного навантаження ефективність нейтралізації CO і вуглеводнів різко зменшується, ефективність нейтралізації оксидів азоту дещо зростає внаслідок збагачення паливоповітряної суміші. Отримані результати щодо ефективності нейтралізації, під час використання різних палив, свідчать про достатню адаптацію системи управління двигуном до використання нестандартного палива за екологічним критерієм.

Результати розрахунку масових викидів шкідливих речовин за виміряними концентраціями (рис. 5.12) є подібними до значень концентрацій внаслідок практичної рівності масового потоку відпрацьованих газів при використанні обох палив, визначеного за витратою палива та витратою повітря.

Під час визначення економічних та екологічних показників КТЗ, під час випробування типу I згідно з Правилами ООН № 83, також здійснювався запис даних за допомогою бортових ІПК. На рис. 5.13-5.16 наведено графічні часові залежності даних швидкості КТЗ, частоти обертання колінчастого валу, кута відкриття дросельної заслінки та ступеня корекції подачі палива при русі КТЗ KIA CEED у їздовому циклі.

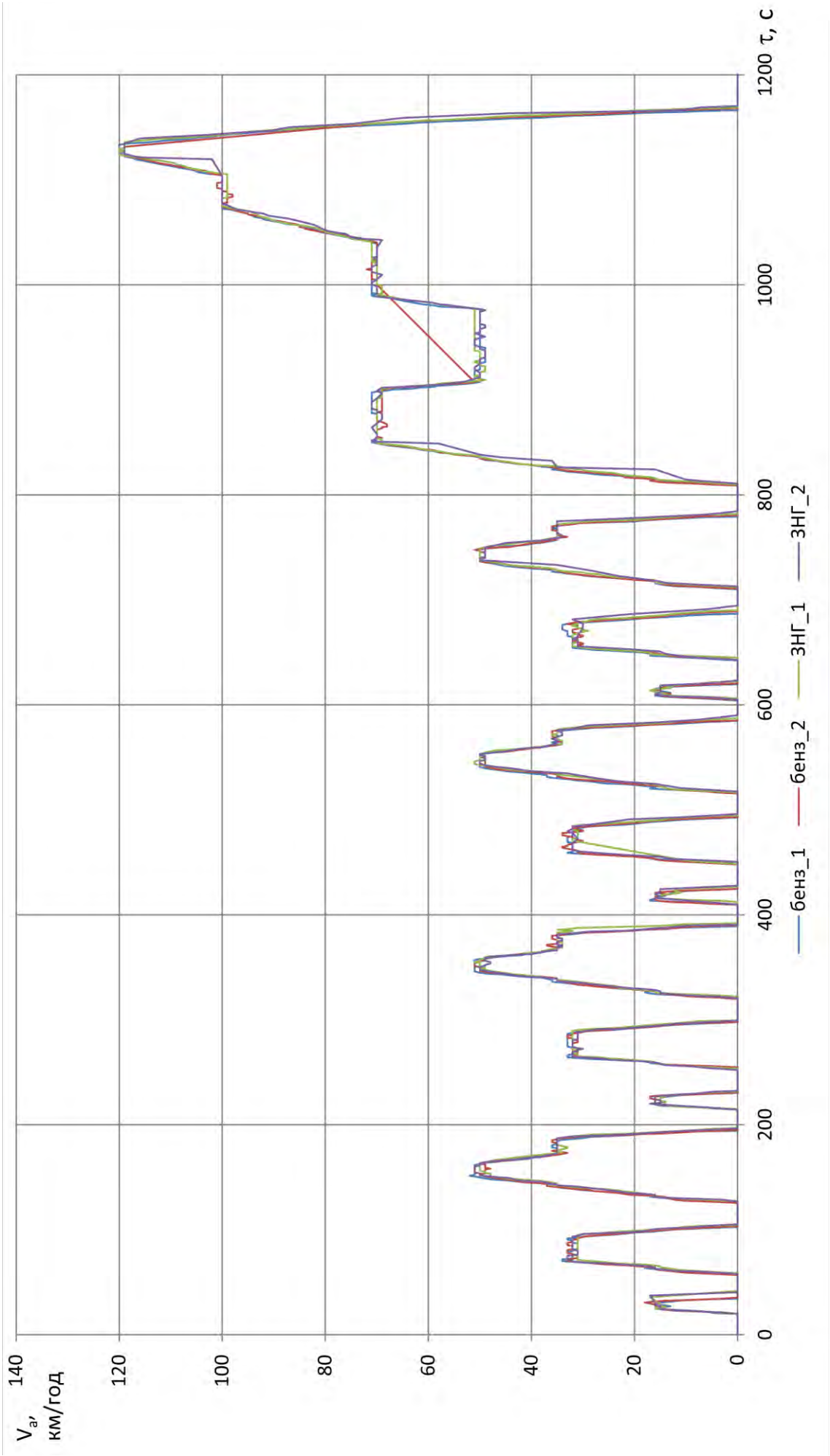


Рисунок 5.13 – Часові залежності швидкості руху КТЗ KIA CEED у їздовому циклі

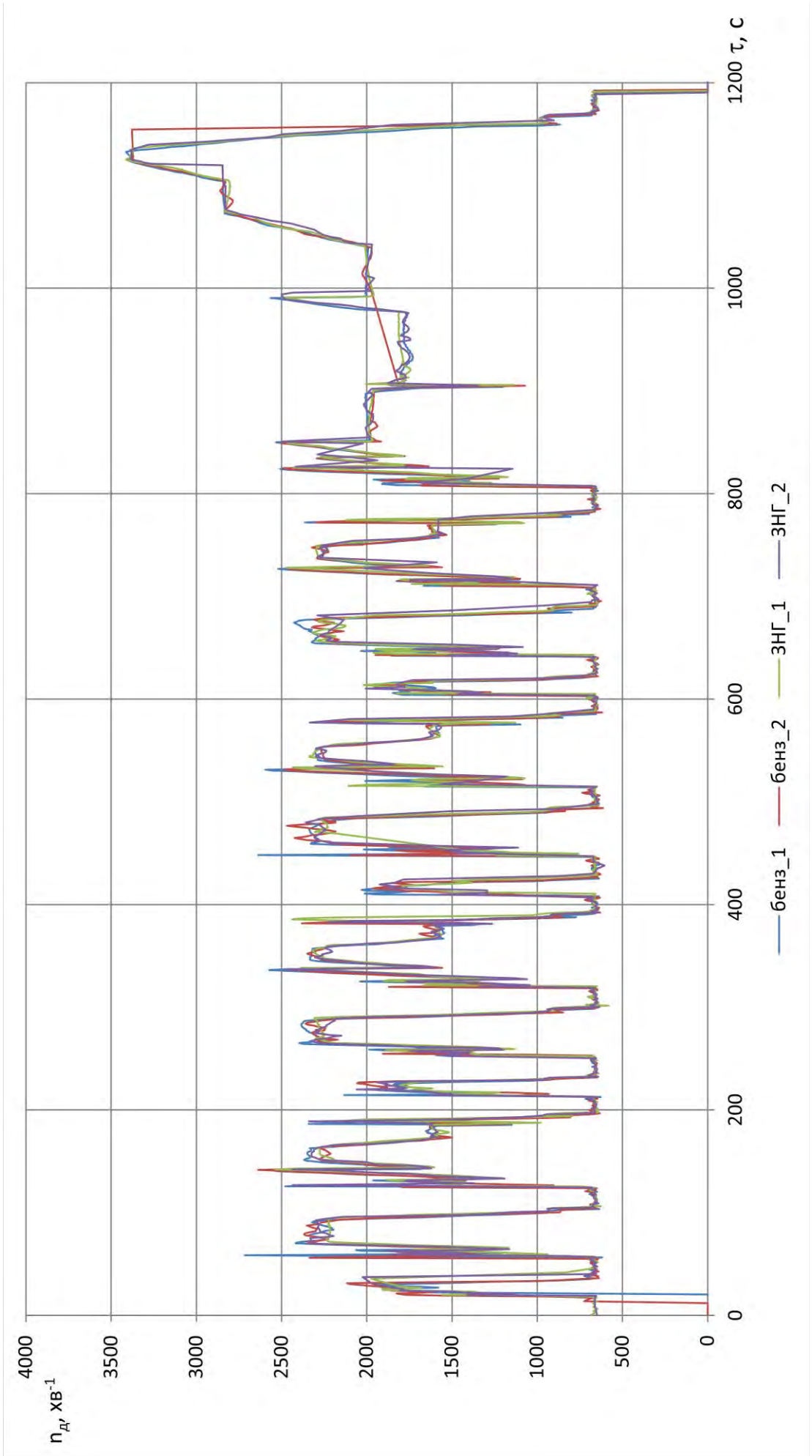


Рисунок 5.14 – Часові залежності частоти обертання колінчастого валу двигуна КТЗ KIA CEED під час руху у їздовому циклі

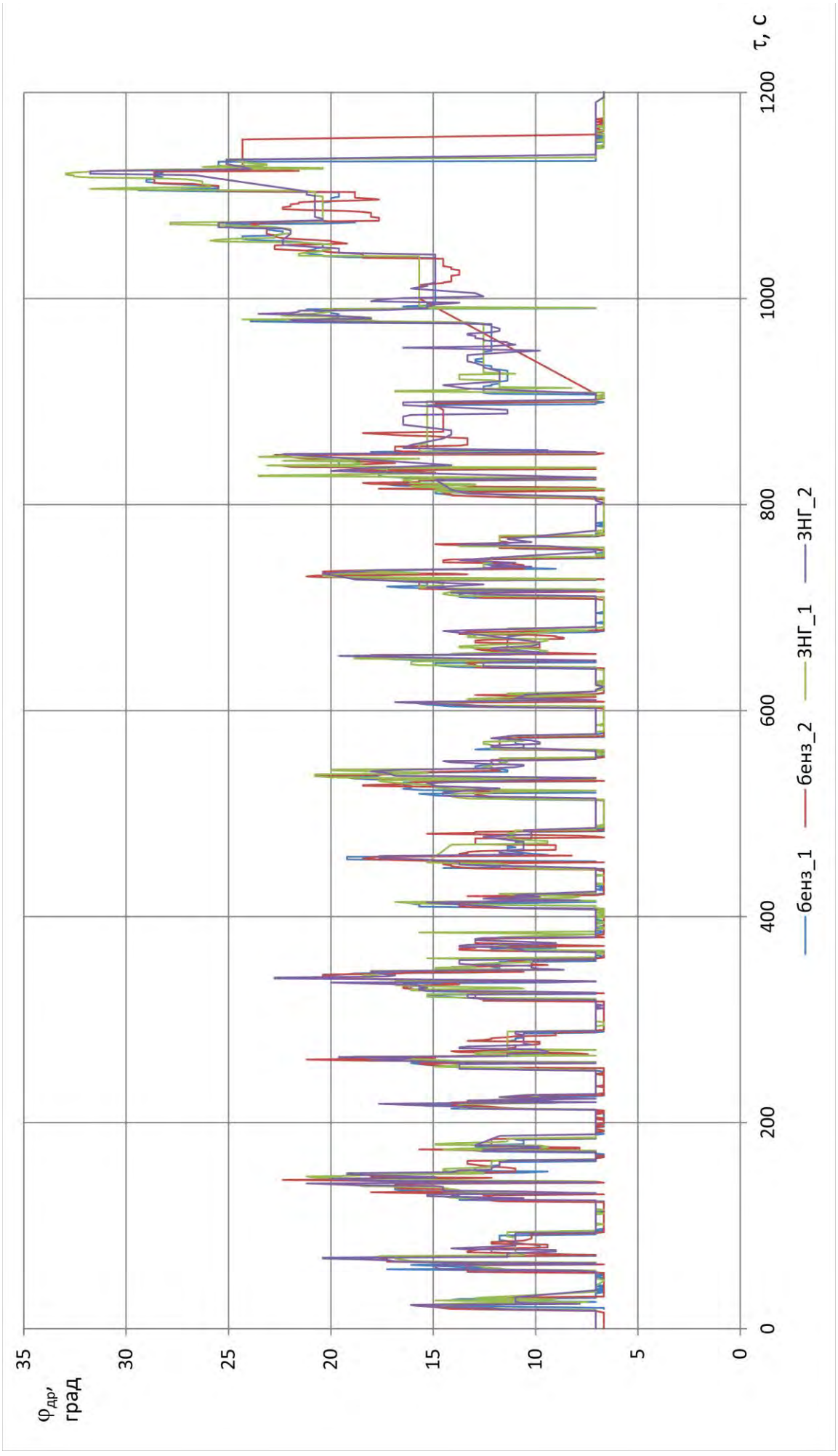


Рисунок 5.15 – Часові залежності кута відкриття дросельної заслінки двигуна КТЗ KIA CEED під час руху у їздовому циклі

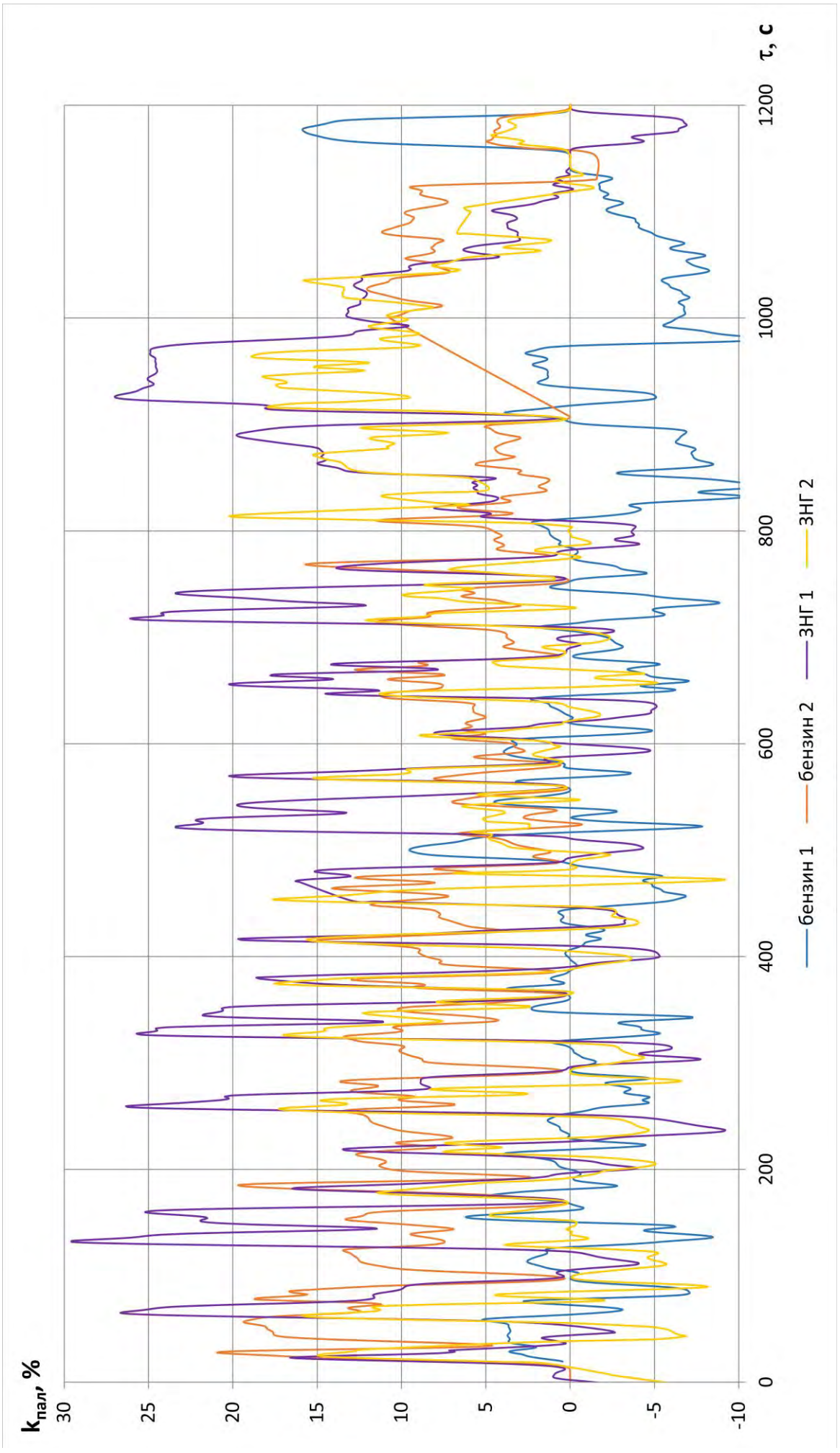


Рисунок 5.16 – Часові залежності ступеня корекції подачі палива при русі КТЗ KIA CEED у їздовому циклі

Отримані дані бортового ІПК щодо швидкості КТЗ (рис. 5.13) та частоти обертання колінчастого валу (рис. 5.14) свідчать про достатню відтворюваність оператором заданих режимів руху в їздовому циклі. Це також дозволяє стверджувати про те, що залежності всіх інших паливно-економічних та екологічних показників КТЗ визначатимуться лише параметрами управління навантаженням двигуна та ступенем адаптації системи управління подачею палива до динамічних змін режимів руху КТЗ [190-192]. Так, часові залежності кута відкриття дросельної заслінки (рис. 5.15), який характеризує навантаження двигуна, підтверджують отримані, під час дослідження усталених режимів роботи двигуна КТЗ, закономірності впливу використання ЗНГ: кут відкриття дросельної заслінки дещо більший порівняно з роботою двигуна на бензині [193-198, 220, 252].

Але одним з основних параметрів динамічної адаптації кількості поданого палива у неусталених режимах руху КТЗ є ступінь корекції подачі палива. Від ефективності адаптації подачі палива у цих режимах залежать як паливна економічність, так й екологічні показники двигуна КТЗ. Із представлених залежностей (рис. 5.16) видно, що при переходах з одного палива на інше певний час відбувається налаштовування системи. Тому, ступінь корекції відрізняється, наприклад, в першому випробуванні від другого при роботі на одному паливі. Це має певний вплив і на результати вимірювань концентрацій та викидів шкідливих речовин під час руху КТЗ в їздовому циклі.

Результати вимірювань концентрацій шкідливих речовин у потоці розбавлених відпрацьованих газів КТЗ KIA CEED, в процесі випробувань за їздовим циклом, наведено на рис. 5.17 – 5.20.

Як показують результати вимірювання концентрацій CO у потоці ВГ (рис. 5.17) загалом зберігається тенденція, отримана під час досліджень в усталених режимах: концентрації CO на окремих ділянках їздового циклу при використанні ЗНГ нижчі. Разом з тим, мають місце локальні стрибки концентрації, як це видно для випадку живлення двигуна бензином (на 1130 с, рис. 5.17). Очевидно, що причиною є короткочасне збагачення суміші та, як наслідок, різке зниження ефективності нейтралізації.

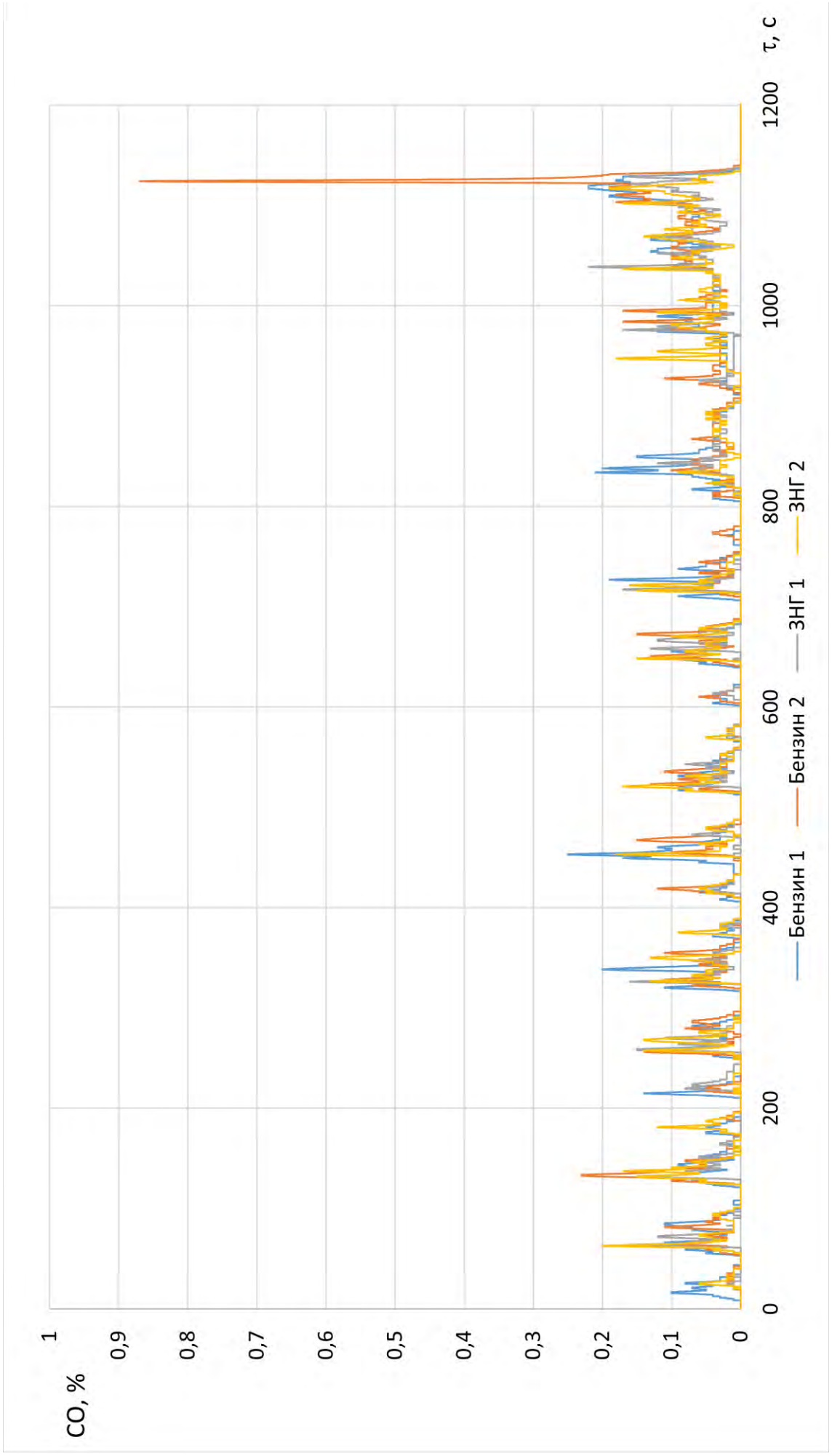


Рисунок 5.17 – Результати вимірювань концентрацій оксиду вуглецю у потоці відпрацьованих газів КТЗ KIA CEED в процесі випробувань за їздовим циклом

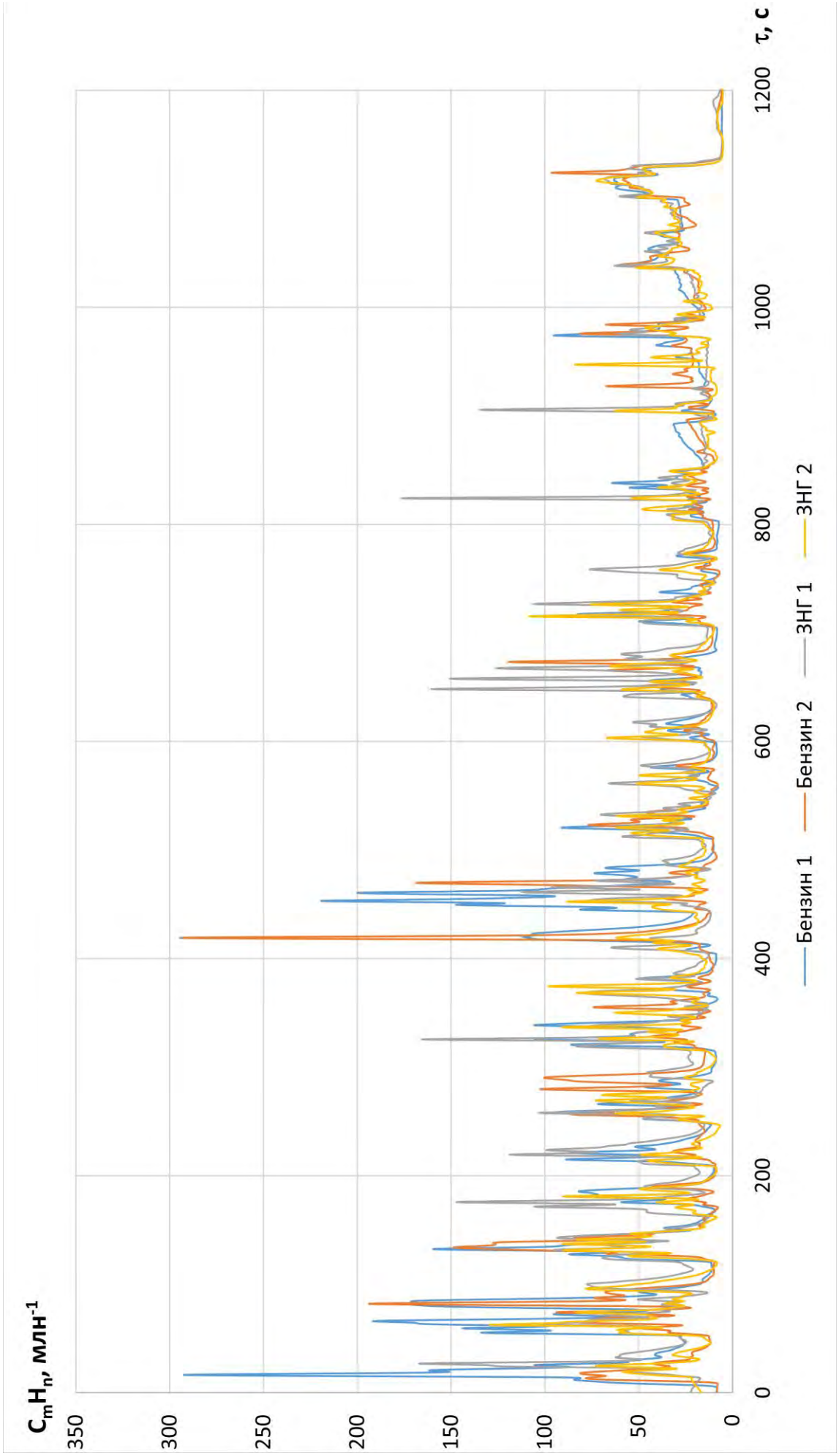


Рисунок 5.18 – Результати вимірювань концентрацій вуглеводнів у потоці відпрацьованих газів КТЗ KIA CEED в процесі випробувань за їздовим циклом

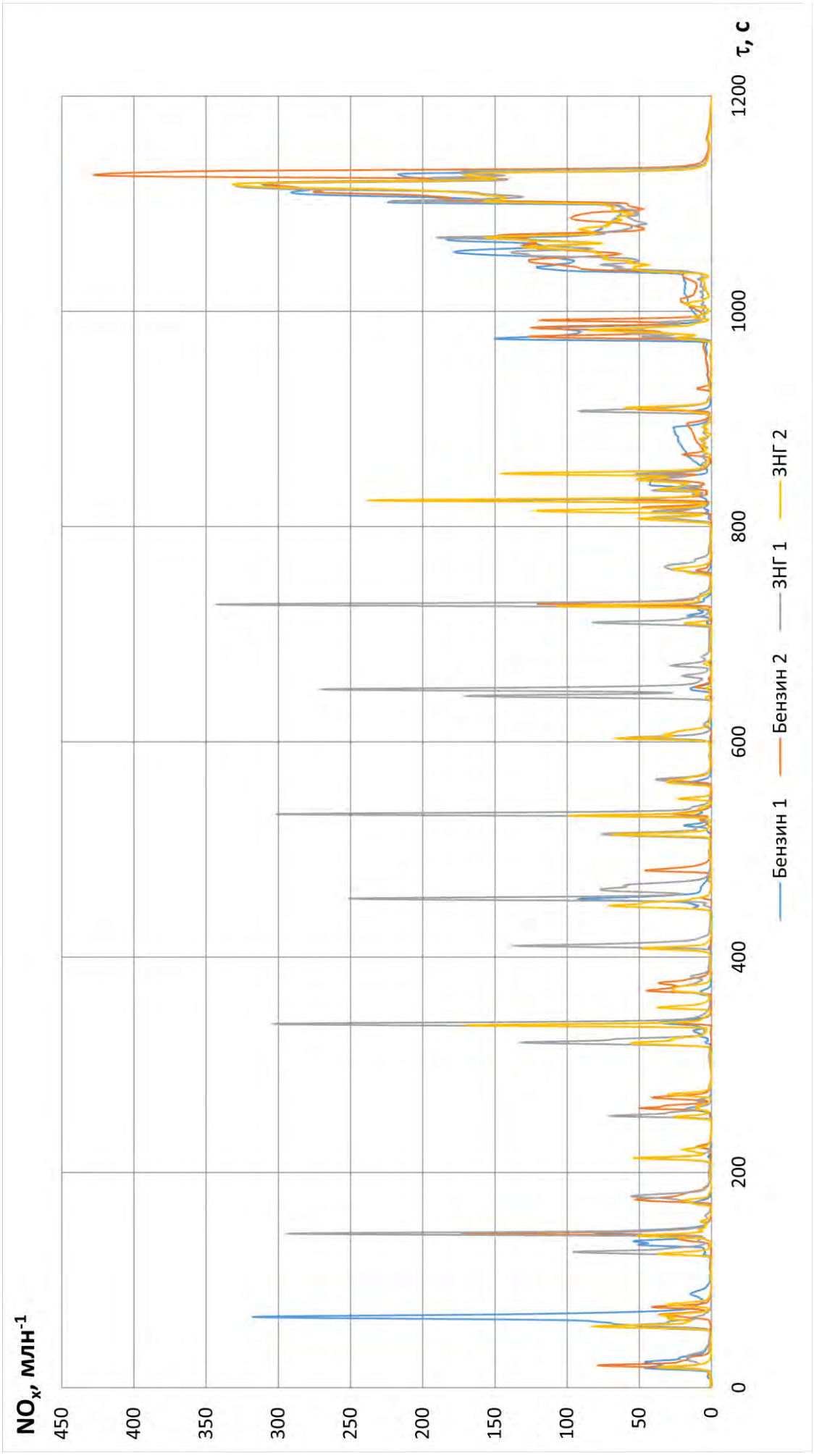


Рисунок 5.19 – Результати вимірювань концентрацій оксидів азоту у потоці відпрацьованих газів КТЗ KIA CEED в процесі випробувань за їздовим циклом

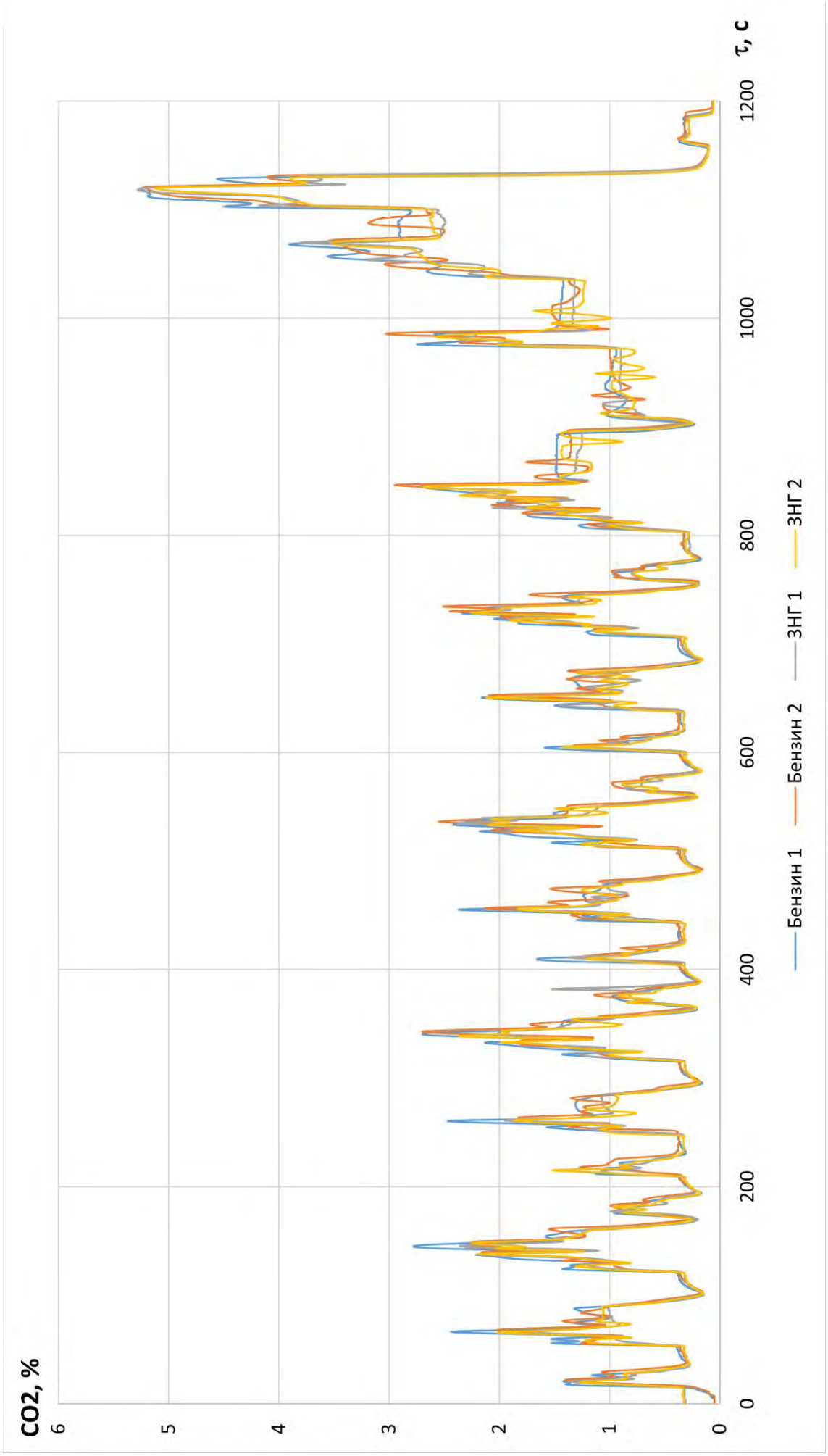


Рисунок 5.20 – Результати вимірювань концентрацій діоксиду вуглецю у потоці відпрацьованих газів КТЗ KIA CEED в процесі випробувань за їздовим циклом

Аналіз результатів вимірювання концентрацій C_mH_n (рис. 5.18) показав, що спостерігаються різкі зміни концентрації. При цьому, стрибки концентрацій мають місце у випадку живлення обома паливами. 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.

Щодо результатів вимірювання концентрацій оксидів азоту (рис. 5.19), то тут спостерігається картина, подібна до концентрацій C_mH_n: різкі стрибки концентрацій викликані процедурами адаптації системи управління під час перших випробувань на відповідних паливах.

Концентрація CO_2 (рис. 5.20) має найбільш зрозумілий і повторюваний характер. Різькі стрибки концентрацій тут відсутні, а при живленні бензином концентрації мають пропорційно більші значення ніж при живленні ЗНГ, що добре корелюється із отриманими результатами в усталених режимах.

За результатами розрахунку масових викидів шкідливих речовин в їздовому циклі КТЗ KIA CEED (рис. 5.21) 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 %.

Також досліджено ефективність використання спиртового палива Е-40 на екологічність КТЗ. За результатами розрахунку масових викидів шкідливих речовин в їздовому циклі КТЗ ВАЗ-21101 (рис. 5.22) 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 [203-205]. Так, при використанні бензину при випробуванні прогрітого двигуна, порівняно із непрогрітим, викиди CO зменшуються на 65 %, викиди C_mH_n – на 51 %, викиди NO_x зростають на 2,3 %, викиди CO_2 зменшуються на 4,6 %. При використанні палива

Е-40 при випробуванні прогрітого двигуна, порівняно із непрогрітим, викиди CO зменшуються на 62 %, викиди C_mH_n – на 51 %, викиди NO_x зростають на 11 %, викиди CO_2 зменшуються на 5,3 %.

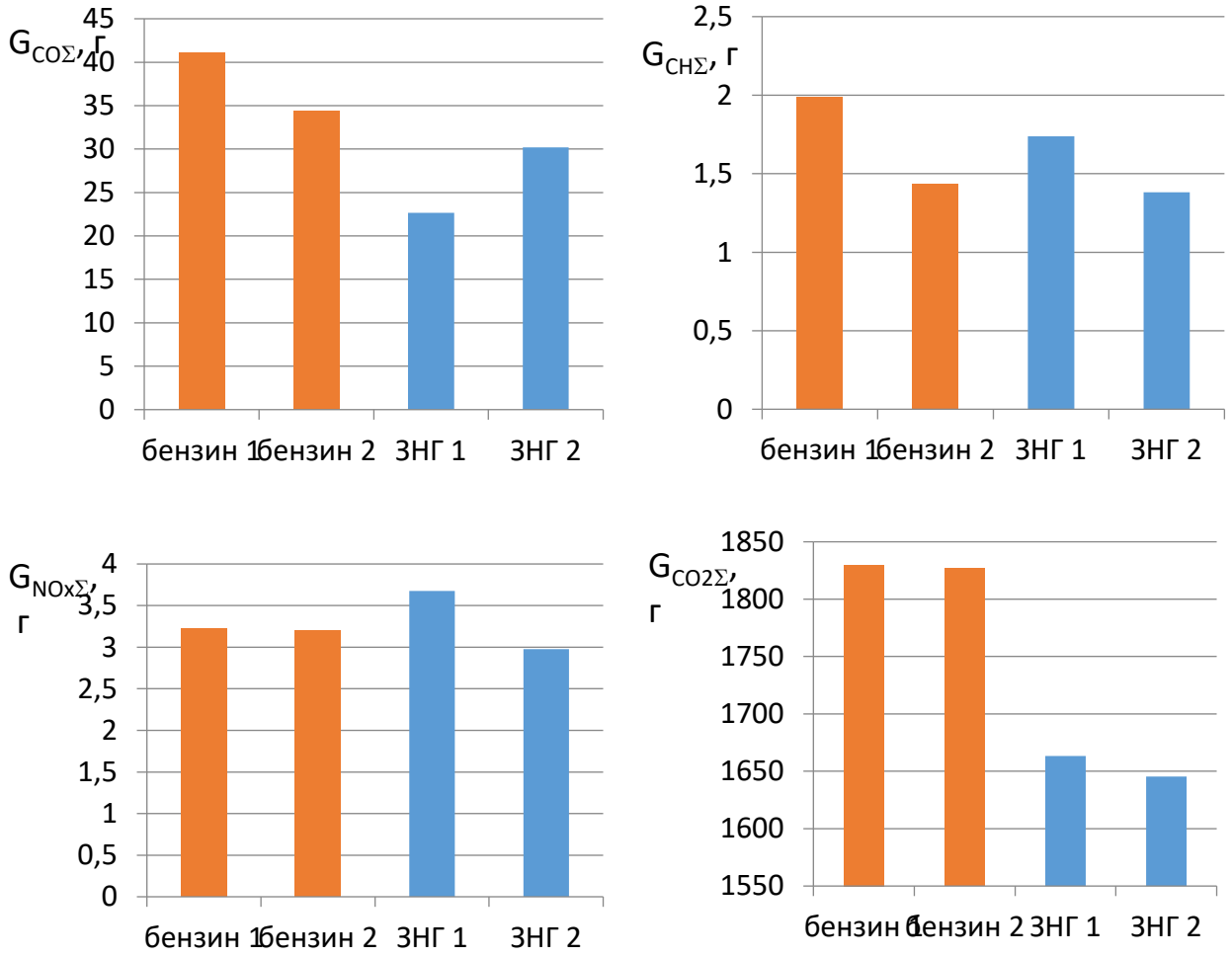


Рисунок 5.21 – Масові викиди шкідливих речовин КТЗ KIA CEED у їздовому циклі

Порівнюючи викиди прогрітого двигуна при використанні палива Е-40 з викидами при живленні бензином, отримуємо такі результати: викиди CO зменшуються на 41 %, викиди C_mH_n зростають на 44 %, викиди NO_x зростають на 8 %, викиди CO_2 зменшуються на 3,6 %. Таким чином, прогрів двигуна мало впливає на можливості адаптації системи до живлення нестандартним паливом. Разом з тим, отримані результати використання спиртовмісного палива Е-40 свідчать про певні можливості поліпшення екологічності КТЗ при його використанні, оскільки є позитивний ефект зменшення викидів CO_2.

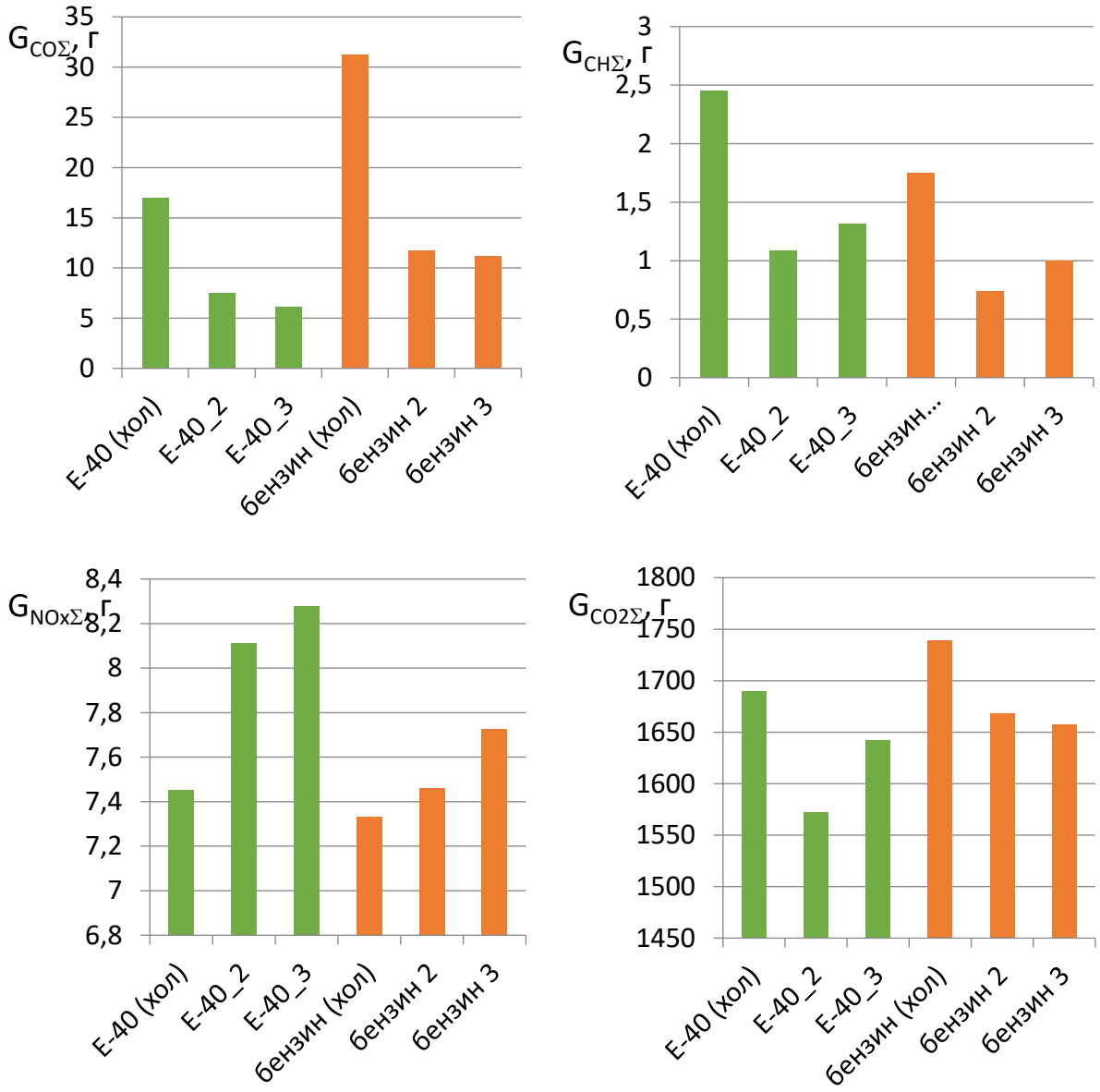


Рисунок 5.22 – Масові викиди шкідливих речовин КТЗ ВАЗ-21101 у їздовому циклі

5.4.3 Дослідження динамічних та економічних показників КТЗ в умовах експлуатації, під час руху на реальному маршруті

Дослідний маршрут представлено на рис. 5.23. Для аналізу показників експлуатаційної ефективності маршрут загальною довжиною близько 1300 км було поділено на 12 ділянок. Для аналізу впливу дорожніх умов на показники ефективності КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS для маршруту визначено також профіль висот.

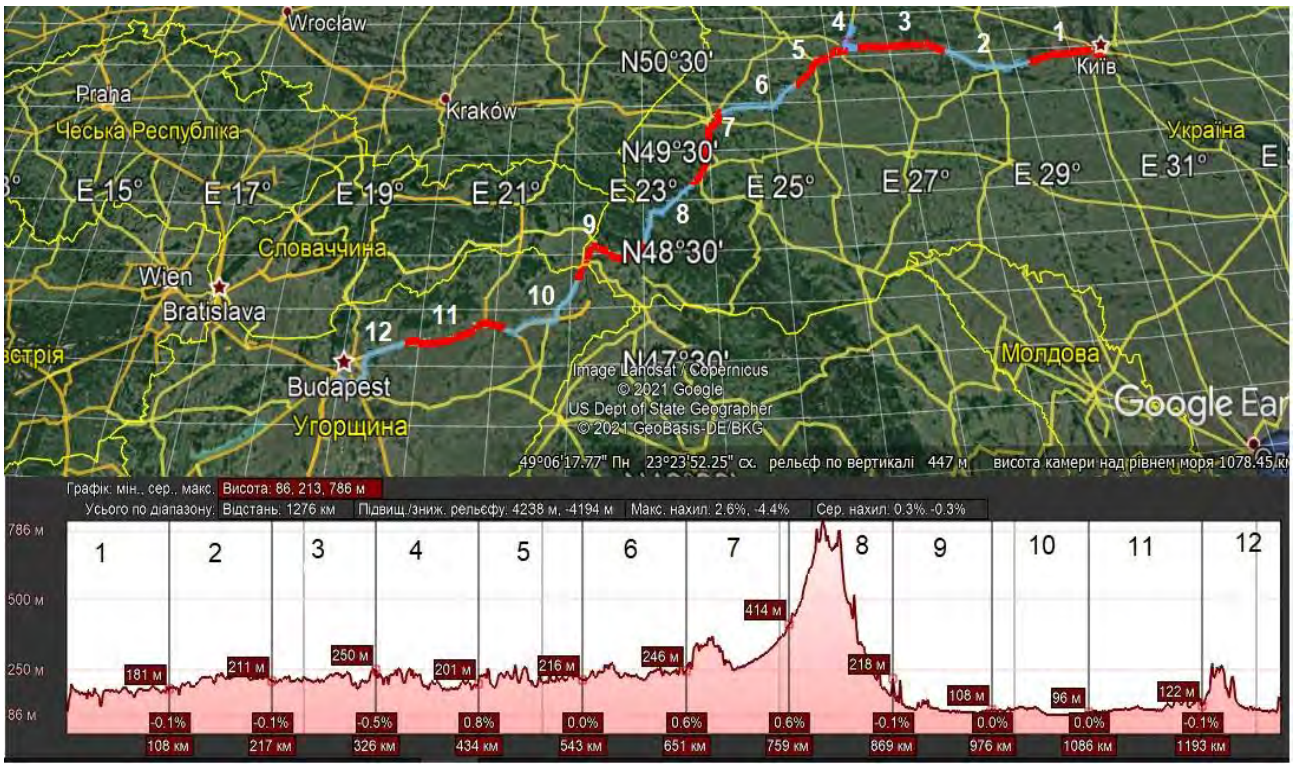
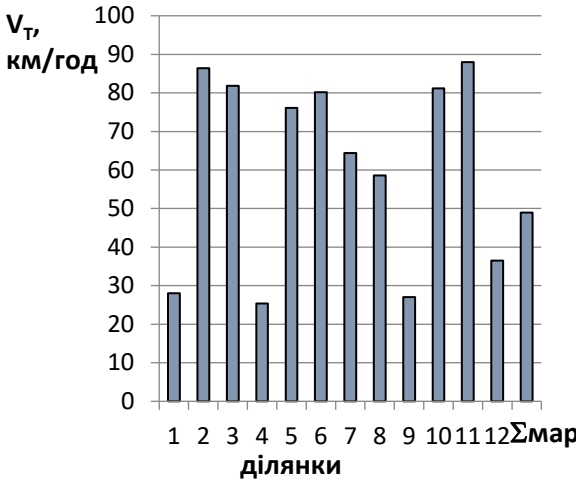
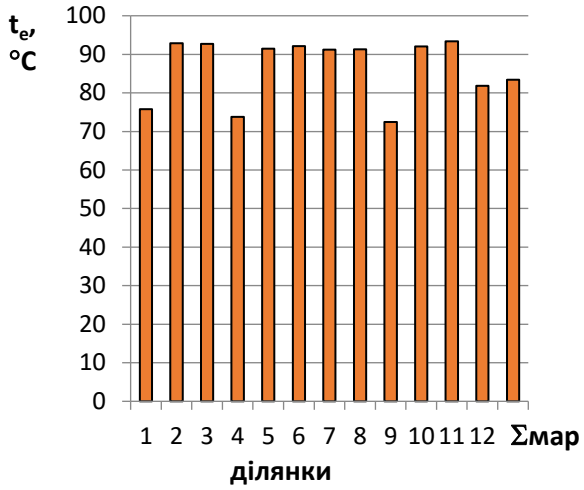


Рисунок 5.23 – Дослідний маршрут для аналізу ефективності вантажного КТЗ Mercedes-Benz Actros 1845 LS

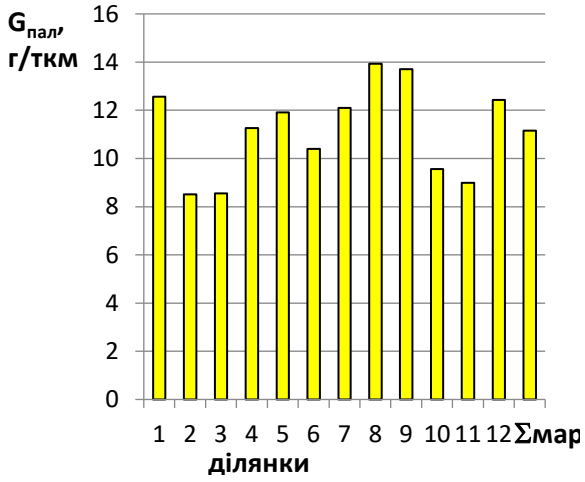
Результати дослідження експлуатаційної ефективності КТЗ на маршруті показано на рис. 5.24. Як видно із представлених результатів, різні ділянки маршуруту характеризуються різними технічними швидкостями (рис. 5.24, а), яка є основним показником транспортної продуктивності КТЗ. Також технічний стан двигуна визначається різною середньою температурою охолоджуючої рідини (рис. 5.24, б). Технічна швидкість і технічний стан КТЗ мають визначальний вплив на інші показники експлуатаційної ефективності. Зокрема, проаналізовано питомі показники витрати палива (рис. 5.24, в) та викидів CO_2 (рис. 5.24, г), NO_x (рис. 5.24, д), та твердих частинок (рис. 5.24, е) на одиницю виконаної транспортної роботи. Мінімальні витрата палива та шкідливі викиди мають місце на ділянках 2, 3, 10 та 11. На цих ділянках досягнуті найвищі значення технічної швидкості, температура охолоджуючої рідини двигуна на оптимальному рівні, а профіль висот дороги характеризується мінімальними перепадами (рис. 5.23). Зниження технічної швидкості та температури охолоджуючої рідини на ділянках 1, 4, 9 та 12 призводить до підвищення витрати палива і викидів в середньому на 44 %.



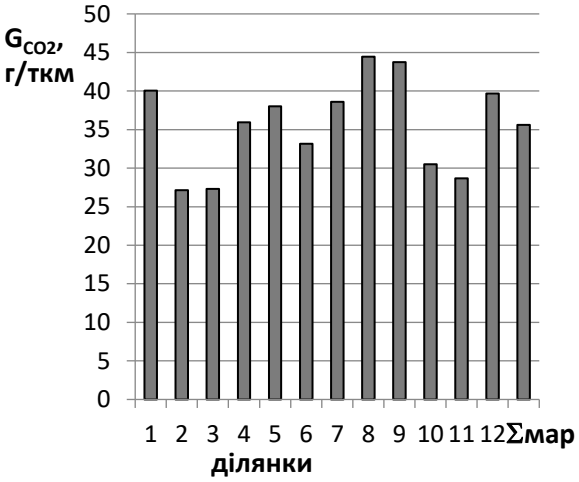
а



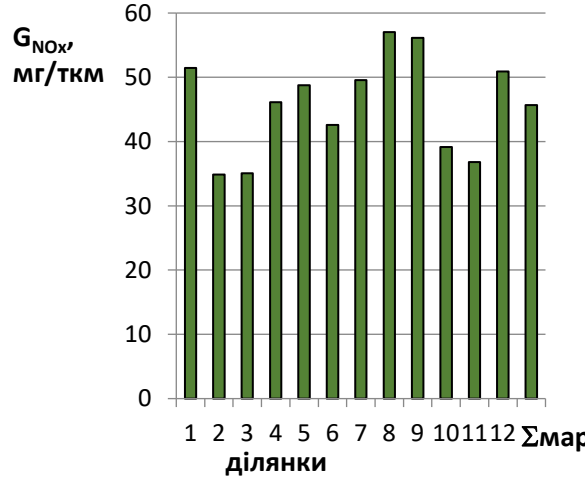
б



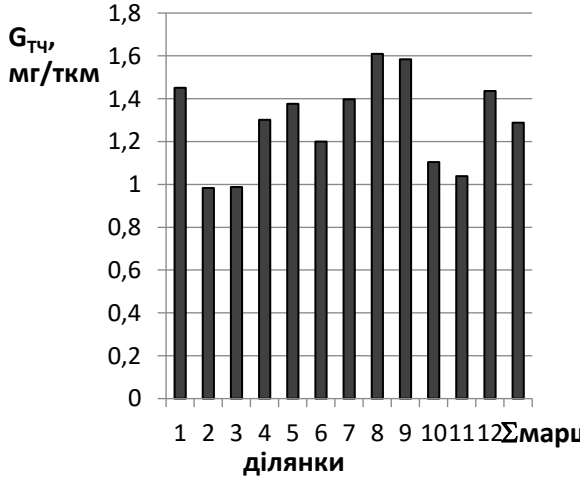
в



г



д



е

Рисунок 5.24 – Результати дослідження експлуатаційної ефективності КТЗ на маршруті: а – технічна швидкість; б – температура охолоджуючої рідини; в – питома витрата палива; г – питомі викиди CO_2; д – питомі викиди NO_x; є – питомі викиди твердих частинок (ТЧ)

Найбільша витрата палива та викиди отримані на ділянці 8, яка характеризується значними перепадами висот дороги (рис. 5.23), 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.

Висновки до розділу 5

1. Сформульвано мету і програму експериментальних досліджень, які передбачають дослідження системи забезпечення оптимального технічного (теплового) стану енергоустановки КТЗ; дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ, обладнаних різними системами живлення, управління та з використанням різних палив, під час стендових випробувань; дослідження динамічних та економічних показників КТЗ в умовах експлуатації, під час руху на реальному маршруті.

2. Об’єктами експериментальних досліджень визначено КТЗ різних категорій M1, N2, N3, для досліджень яких розроблено відповідні методики досліджень.

3. Експериментальні установки включали обладнання енергоустановки КТЗ тепловим акумулятором для прискореного прогріву системи охолодження, установку для стендових випробувань КТЗ в усталених режимах для визначення характеристик двигуна та в їздовому циклі, обладнання вантажного КТЗ бортовим ІПК для безперервного дистанційного моніторингу параметрів технічного стану та паливної економічності в умовах експлуатації.

4. В результаті експериментальних досліджень системи забезпечення теплового стану ЕУ КТЗ встановлено високу ефективність застосування інтелектуального управління штатною системою охолодження двигуна та теплового акумулятора для скорочення часу прогріву двигуна в умовах експлуатації. Зокрема, використання теплового акумулятора забезпечує скорочення часу повного прогріву двигуна на 37,4, 30,3 та 47,1 % для температур навколишнього середовища -20, 0 та

20 °С відповідно, а час підтримання необхідної температури охолоджуючої рідини складає 510, 600 та 720 хв відповідно для цих умов.

5. Дослідження динамічних, економічних та екологічних показників КТЗ, обладнаних різними системами живлення, управління та з використанням різних палив, під час стендових випробувань, 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 при живленні різними паливами на енергетичні, економічні та екологічні показники КТЗ. Зокрема, використання ЗНГ, порівняно із бензином, призводить до деякого 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 %. Адаптованість системи до динамічних режимів роботи двигуна є достатньою, але при переходах на живлення різними паливами спостерігається певний період адаптації, що призводить до деякого погіршення екологічних показників. В цілому встановлено, що використання ЗНГ дозволяє знизити викиди CO_2 на 9,8 %, а використання спиртового палива Е-40 – на 3,6 %. Додатковий прогрів знижує викиди CO_2 на 5,3 %.

6. Дослідження динамічних та економічних показників КТЗ під час руху на реальному маршруті також дозволили встановити вплив умов експлуатації на ці показники. Так, визначено, що зниження технічної швидкості від доцільного значення 85 км/год та зниження середньої температури охолоджуючої рідини призводить до до підвищення витрати палива і викидів в середньому на 44 %. В свою чергу, несприятливі дорожні умови, у вигляді значних перепадів висот дорожньої поверхні, збільшують втрату палива і викиди шкідливих речовин ще додатково на 7,7 %.

РОЗДІЛ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ НА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЯХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КТЗ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ

6.1 Дослідження ефективності управління системою забезпечення теплового стану енергоустановки КТЗ за економічним та екологічним критеріями

Як було встановлено у попередніх розділах, експлуатаційна ефективність КТЗ значною мірою залежить від способу забезпечення теплового стану енергоустановки та каталітичного нейтралізатора.

З метою забезпечення оптимального теплового стану можливе використання системи прискореного прогріву двигуна КТЗ, що передбачає використання теплового акумулятора з фазовим переходом, системи циркуляції теплоносія між порожниною у тепловому акумуляторі та системою охолодження двигуна з використанням циркуляційного насосу з електричним приводом та системи управління роботою циркуляційного насосу на основі широтно-імпульсної модуляції. Для ефективного управління циркуляційним насосом частота керуючих імпульсів ланцюгу живлення насоса визначається на основі інформації про оптимальну, у даному режимі роботи двигуна, частоту обертання циркуляційного насосу. Оптимальна частота ротора циркуляційного насосу залежить від двох умов: перша – забезпечити швидкий прогрів двигуна для зменшення викидів шкідливих речовин та витрати палива; друга – витратити найменшу кількість механічної енергії для приводу додаткового циркуляційного насосу в процесі використання системи прискореного прогріву з тепловим акумулятором.

Дослідження, виконане з використанням математичної моделі (розділ 4), дозволило встановити доцільні межі зміни частоти обертання циркуляційного насосу з визначеними конструктивними параметрами для системи прискореного прогріву двигуна КТЗ категорії М1.

Результати дослідження впливу частоти обертання циркуляційного насосу на витрату палива та викиди шкідливих речовин в процесі прогріву визначені для

різних режимів роботи двигуна під час прогріву. Результати цих досліджень представлені на рис. 6.1-6.3. Час роботи двигуна при різних частотах обертання циркуляційного насосу взято однаковим, що відповідає часу прогріву $\tau_{пр}$ двигуна до робочої температури без теплового акумулятора.

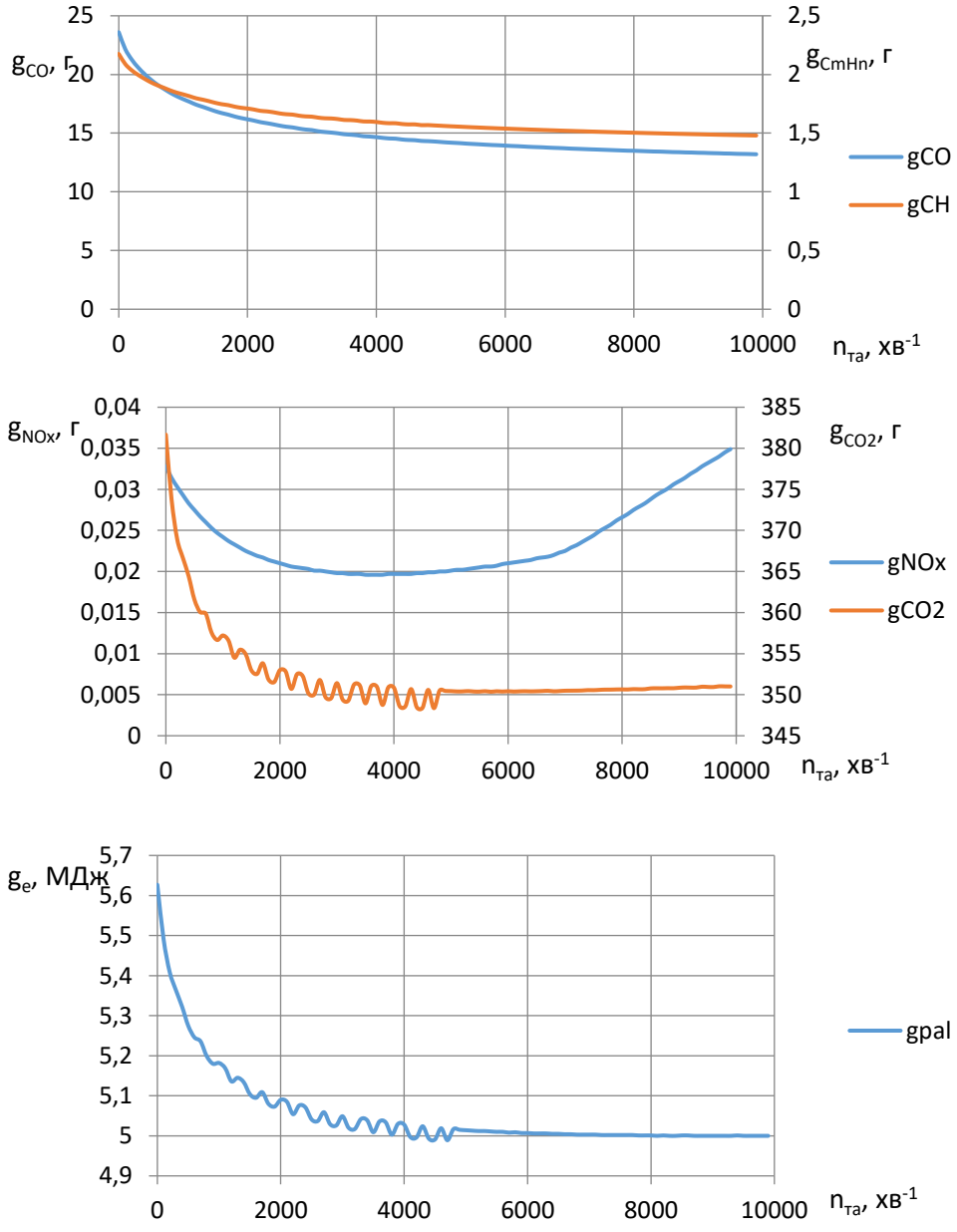


Рисунок 6.1 – Вплив частоти обертання циркуляційного насосу на показники двигуна в період прогріву в режимі холостого ходу ($n_д$ = 1000 хв$^{-1}$, $\tau_{пр}$ = 528 с)

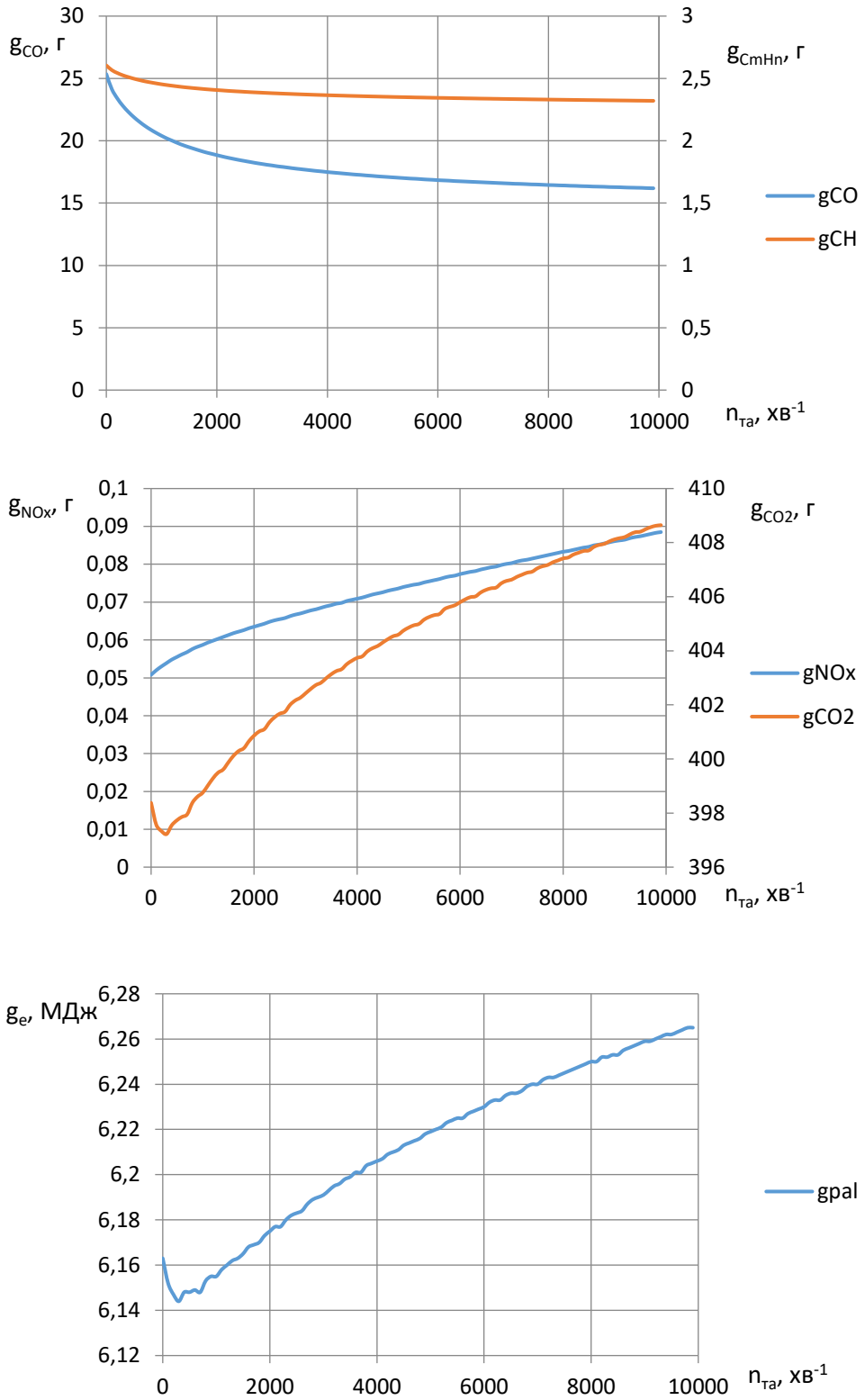


Рисунок 6.2 – Вплив частоти обертання циркуляційного насосу на показники двигуна в період прогріву в режимі холостого ходу ($n_д$ = 1500 хв$^{-1}$, $\tau_{пр}$ = 432 с)

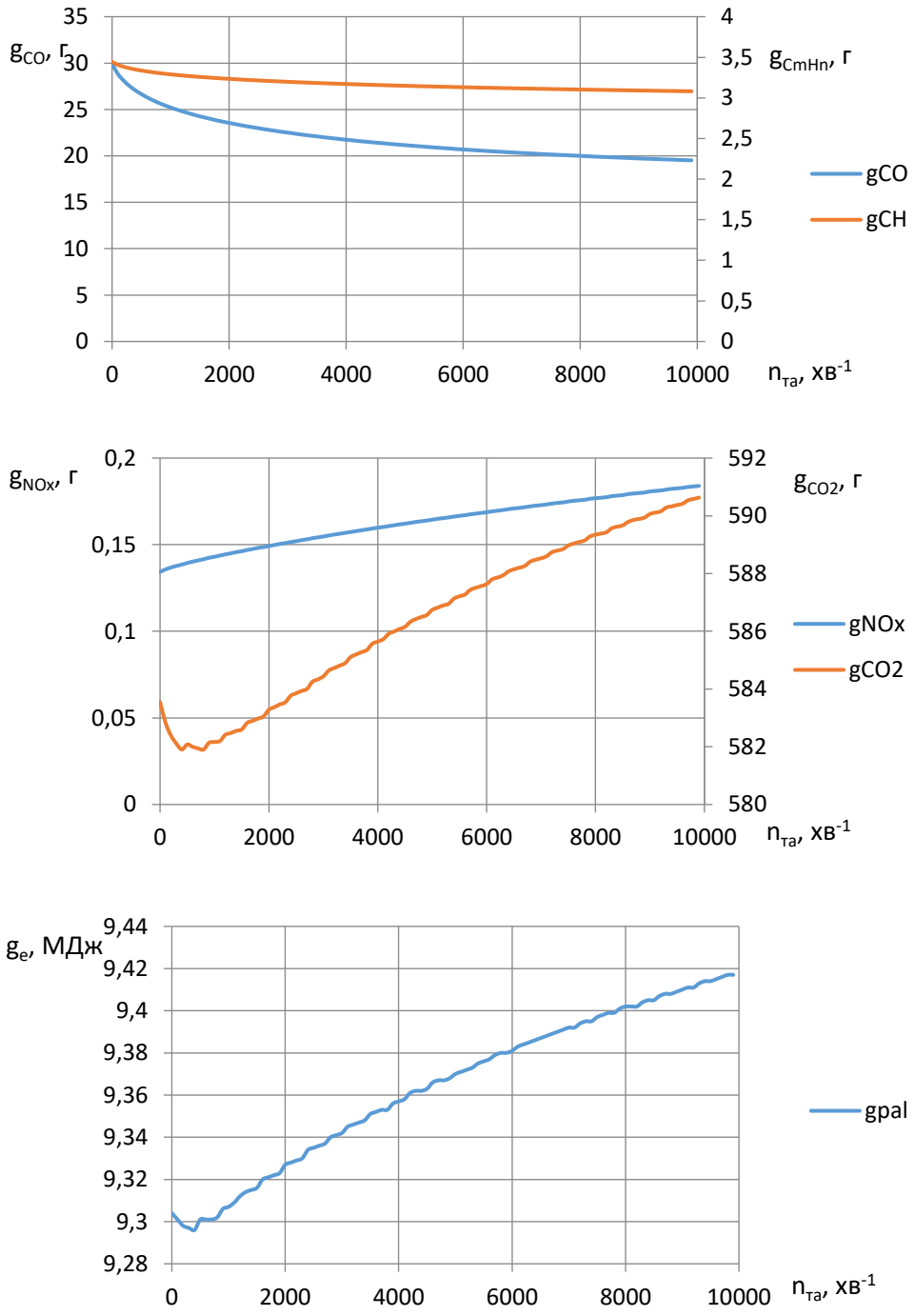


Рисунок 6.3 – Вплив частоти обертання циркуляційного насосу на показники двигуна в період прогріву під навантаженням ($n_д$ = 2000 хв$^{-1}$, Ме = 20 Н·м, $\tau_{пр}$ = 321 с)

Як видно із представлених результатів, збільшення частоти обертання має суттєвий вплив на зменшення викидів СО. Разом з тим, вплив на інші показники двигуна не однозначний. В цілому, ефект значного поліпшення всіх екологічних та паливно-економічних показників може бути досягнуто лише при мінімальних

частотах обертання холостого ходу (рис. 6.1). В цьому режимі оптимальна частота обертання валу насосу складає $n_{\text{ТА}}{}^{opt}$ =3700 хв$^{-1}$. Для інших режимів роботи двигуна встановлена залежність оптимальної частоти обертання валу циркуляційного насоса в залежності від тиску у впускному колекторі:

$$n_{\text{ТА}}{}^{opt} = -0{,}0151 \cdot p_k + 706. \quad (6.1)$$

При збільшенні навантаження (тиску у впускному колекторі більше 40 кПа) використовувати тепловий акумулятор практично недоцільно, оскільки це призводить в основному до погіршення показників двигуна.

При досягненні робочої температури охолоджуючої рідини циркуляційний насос відключається.

6.2 Дослідження динамічних показників руху КТЗ на маршруті з використанням інтелектуального аналізу параметрів інфраструктури

В умовах експлуатації здійснюється безперервний моніторинг усіх параметрів технічного стану КТЗ, які визначають динамічні показники. З цією метою використовується розроблений бортовий ІПК. На рис. 6.4 показано фрагменти вихідних файлів даних.

На основі отриманих даних формуються інформаційні таблиці даних про поточні технічні параметри руху КТЗ, доступні для перегляду у додатках для відображення електроних таблиць (рис. 6.5). Параметри, що відносяться до поточного місцезнаходження КТЗ дозволяють сформувати файл, доступний для перегляду у додатку для відтворення картографічних даних (рис. 6.6). Кожна точка картографічних даних дозволяє відтворювати географічні координати поточного місцезнаходження КТЗ.

На основі отриманих даних формуються динамічні показники руху КТЗ.

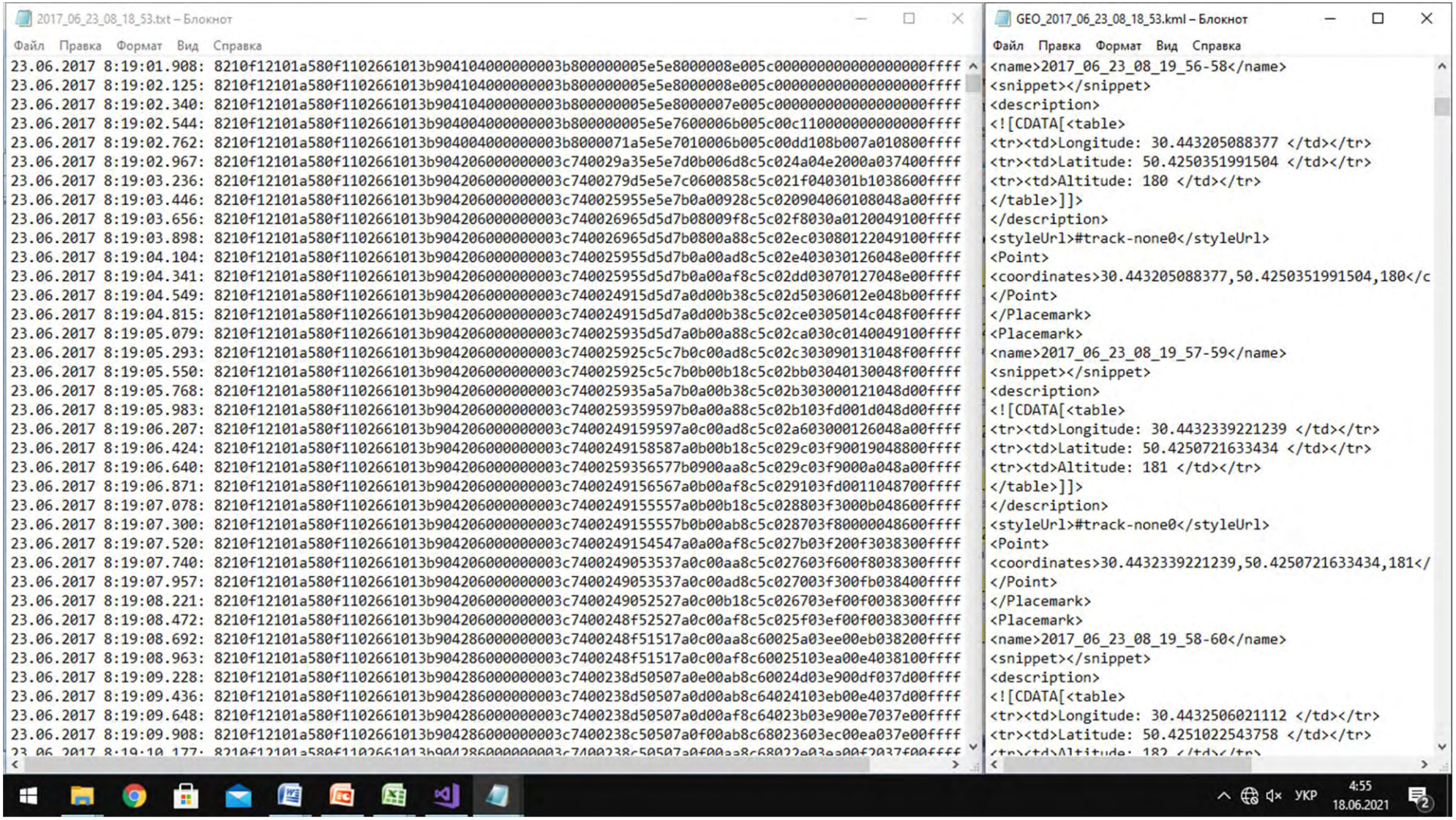


Рисунок 6.4 – Фрагменти вихідних файлів даних бортової системи моніторингу КТЗ

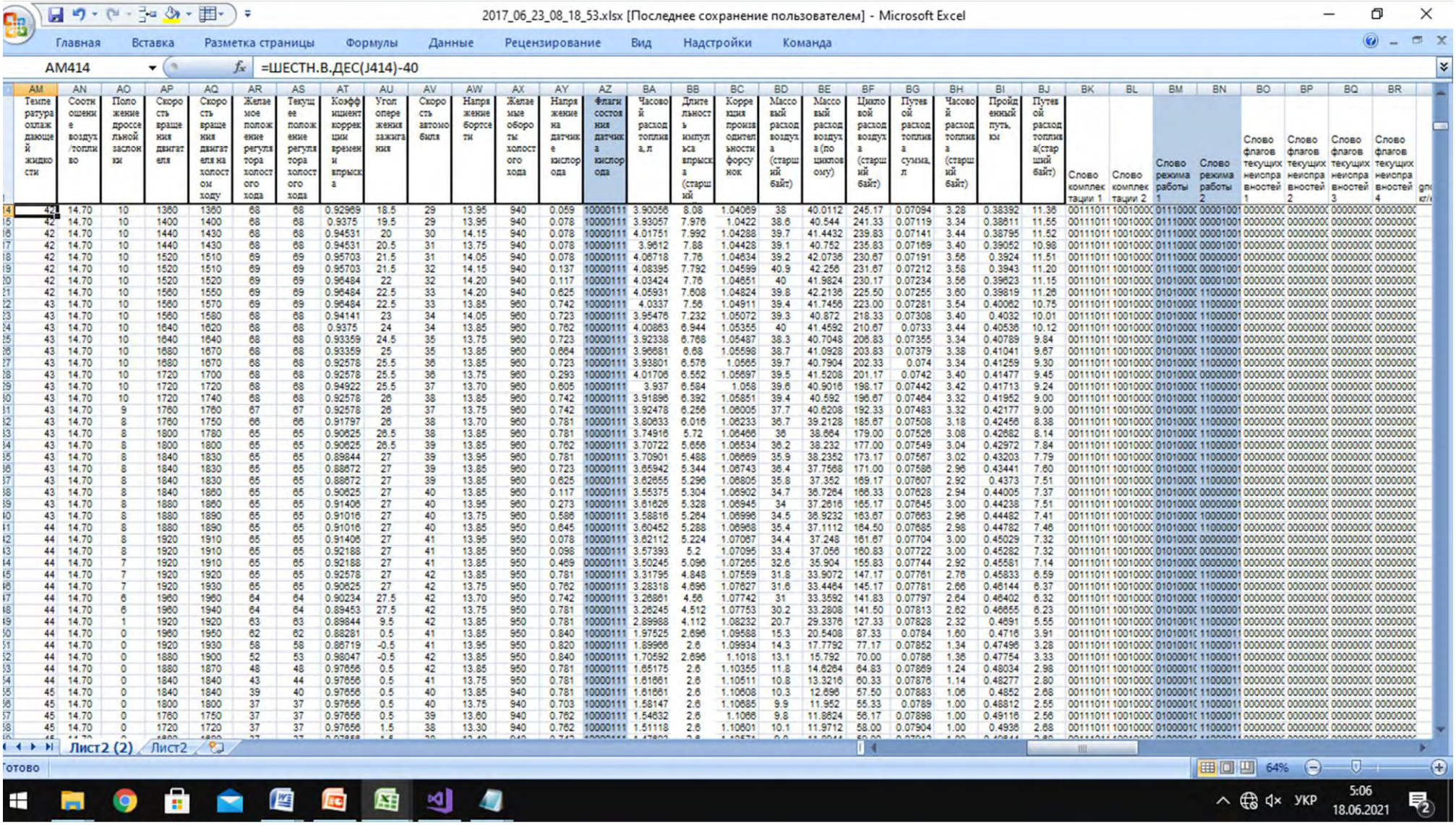


Рисунок 6.5 – Фрагмент таблиці даних про поточні технічні параметри руху КТЗ

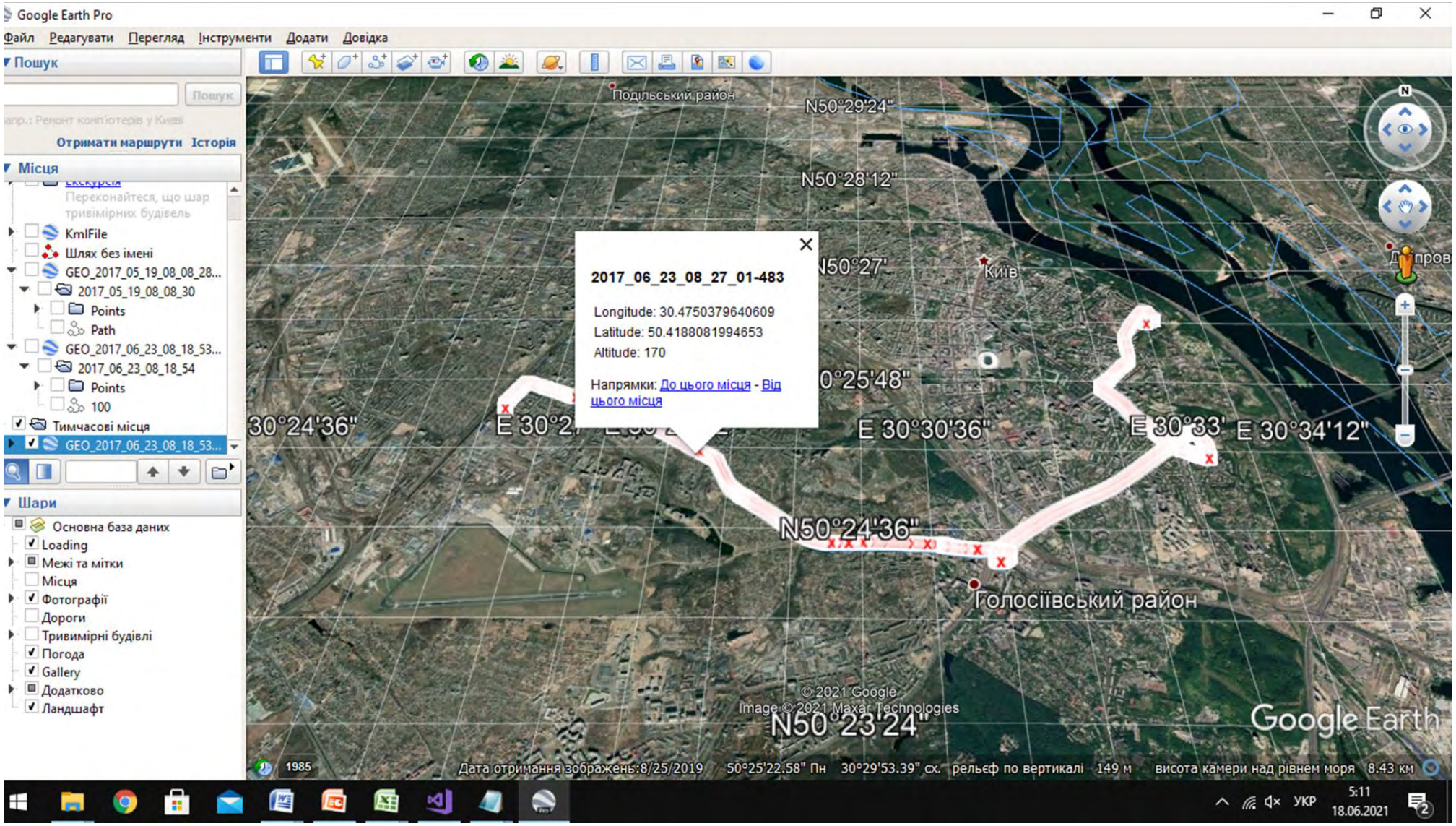


Рисунок 6.6 – Фрагмент відтворення даних про поточне місцезнаходження КТЗ у картографічному додатку

На рис. 6.7-6.13 показано динаміку зміни параметрів технічного стану КТЗ під час руху у міському потоці, отримані за допомогою бортового ІПК для маршруту, показаному на рис. 6.6.

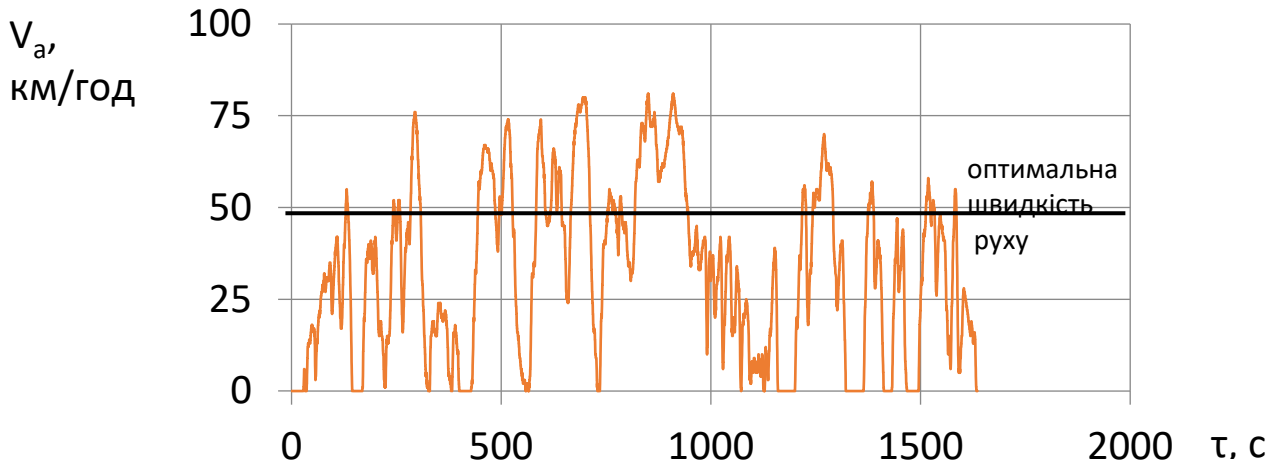


Рисунок 6.7 –Динаміка зміни швидкості КТЗ

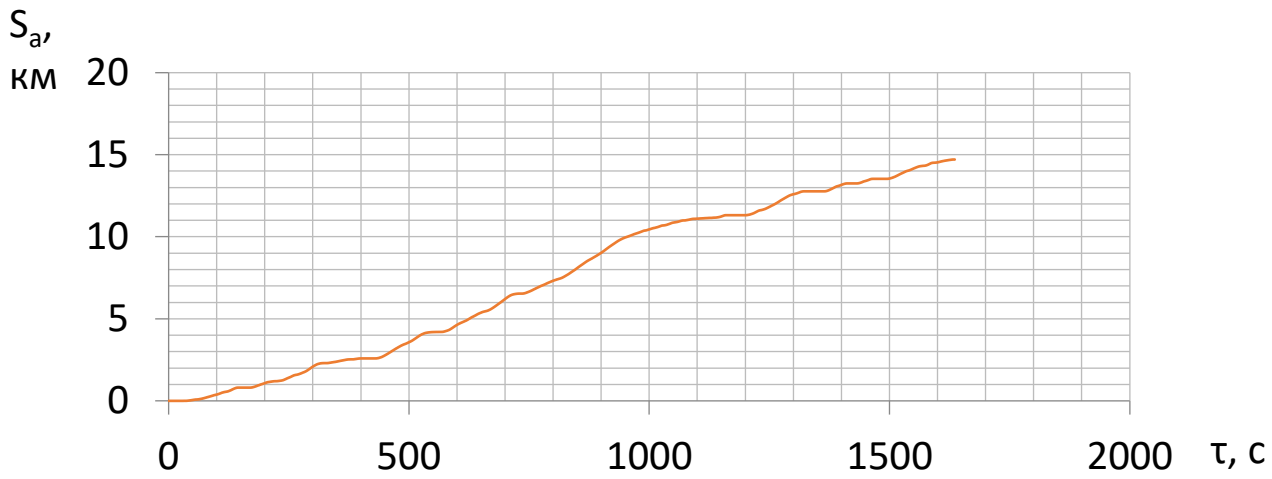


Рисунок 6.8 –Динаміка зміни пройденого шляху КТЗ

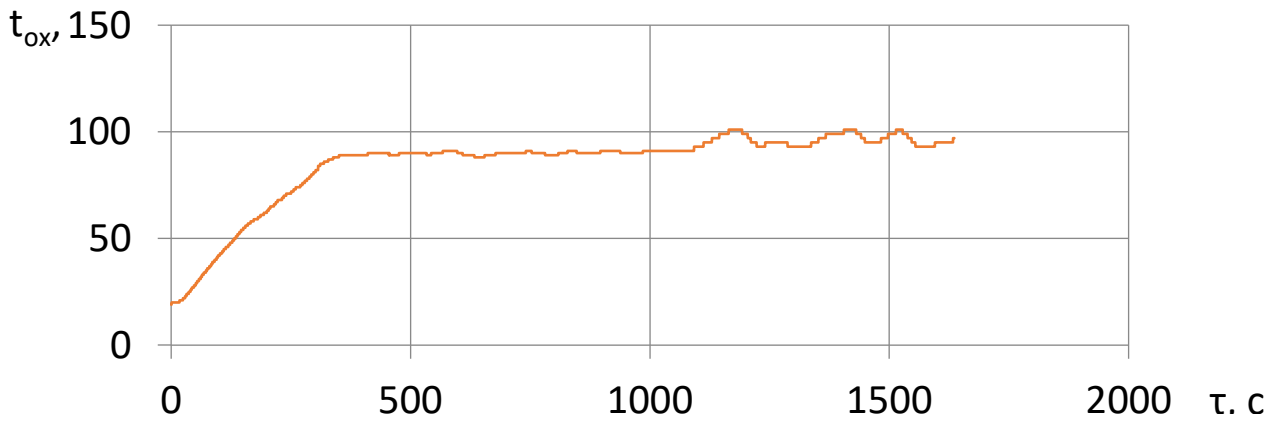


Рисунок 6.9 – Динаміка зміни температурного стану двигуна КТЗ

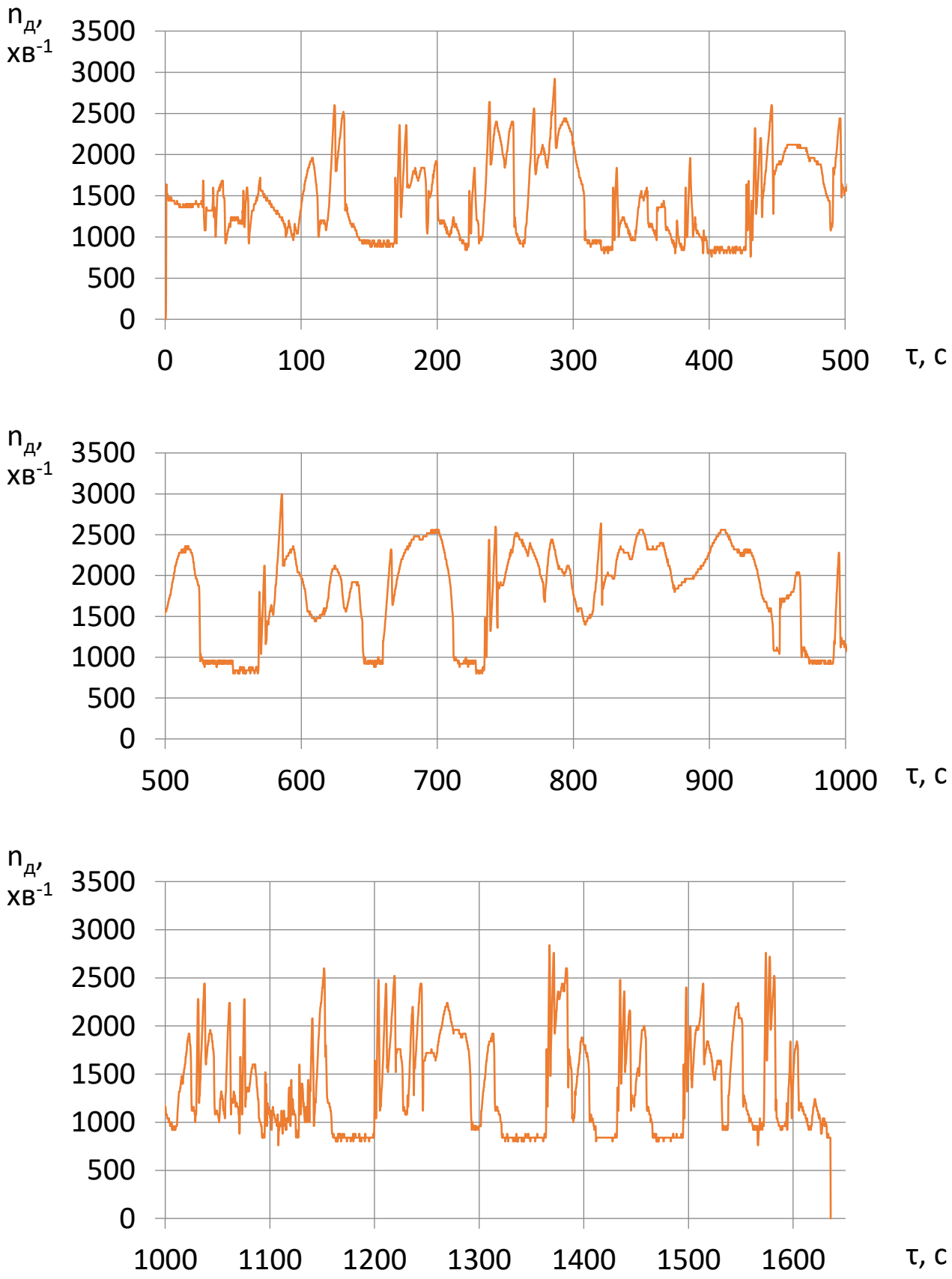


Рисунок 6.10 – Динаміка зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна КТЗ

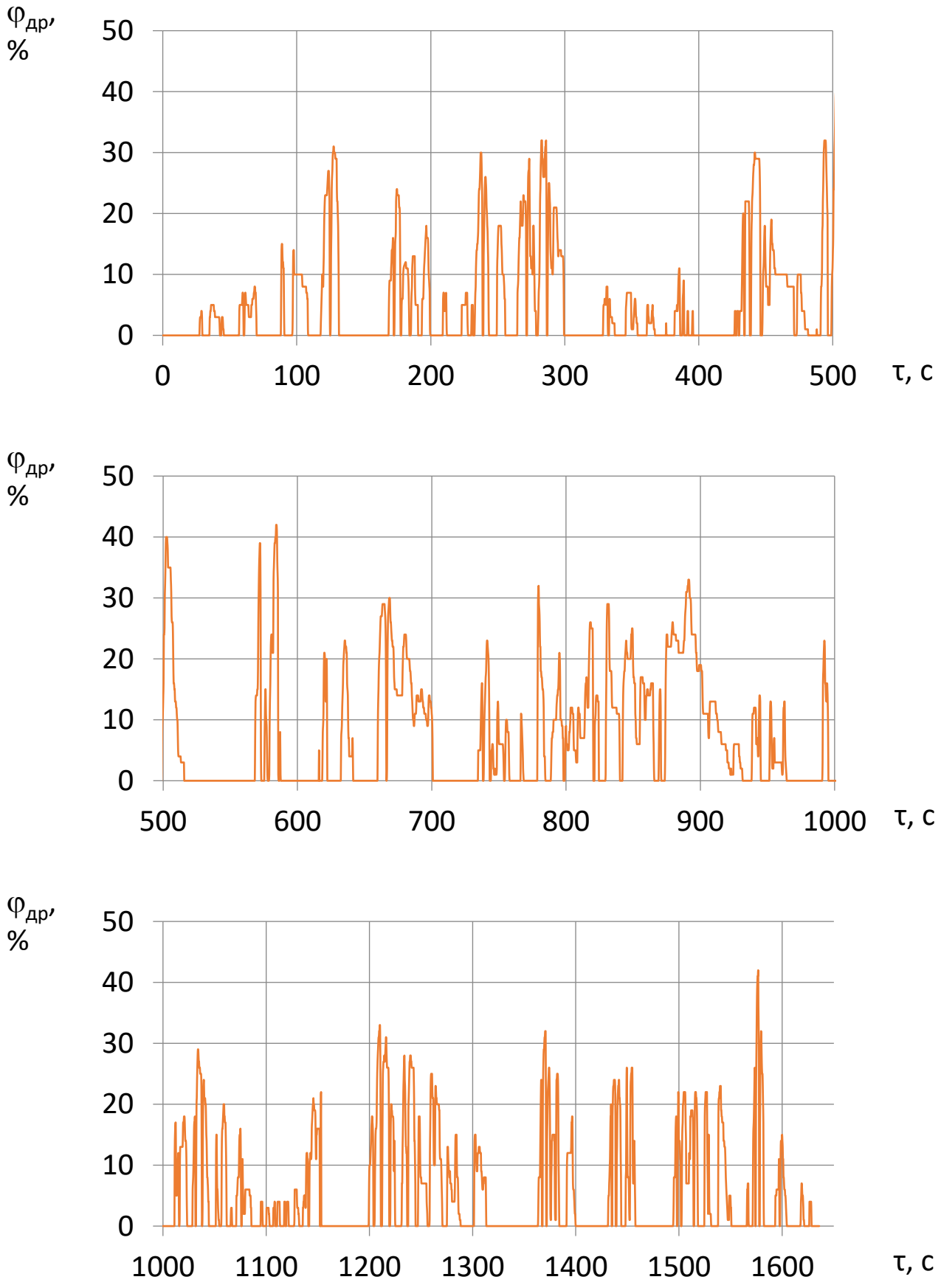


Рисунок 6.11 – Динаміка зміни положення дросельної заслінки двигуна КТЗ

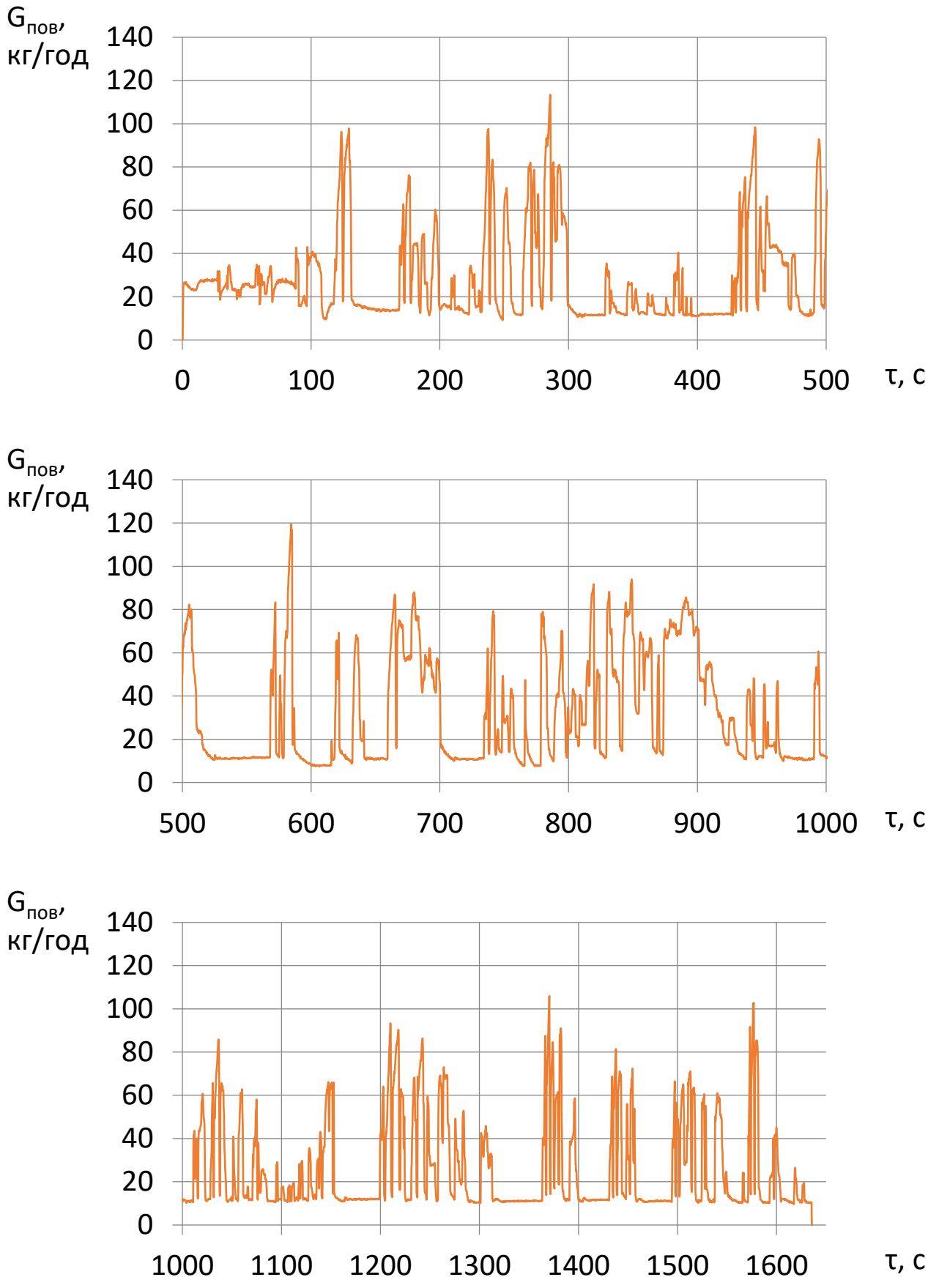


Рисунок 6.12 – Динаміка зміни годинної витрати повітря двигуном КТЗ

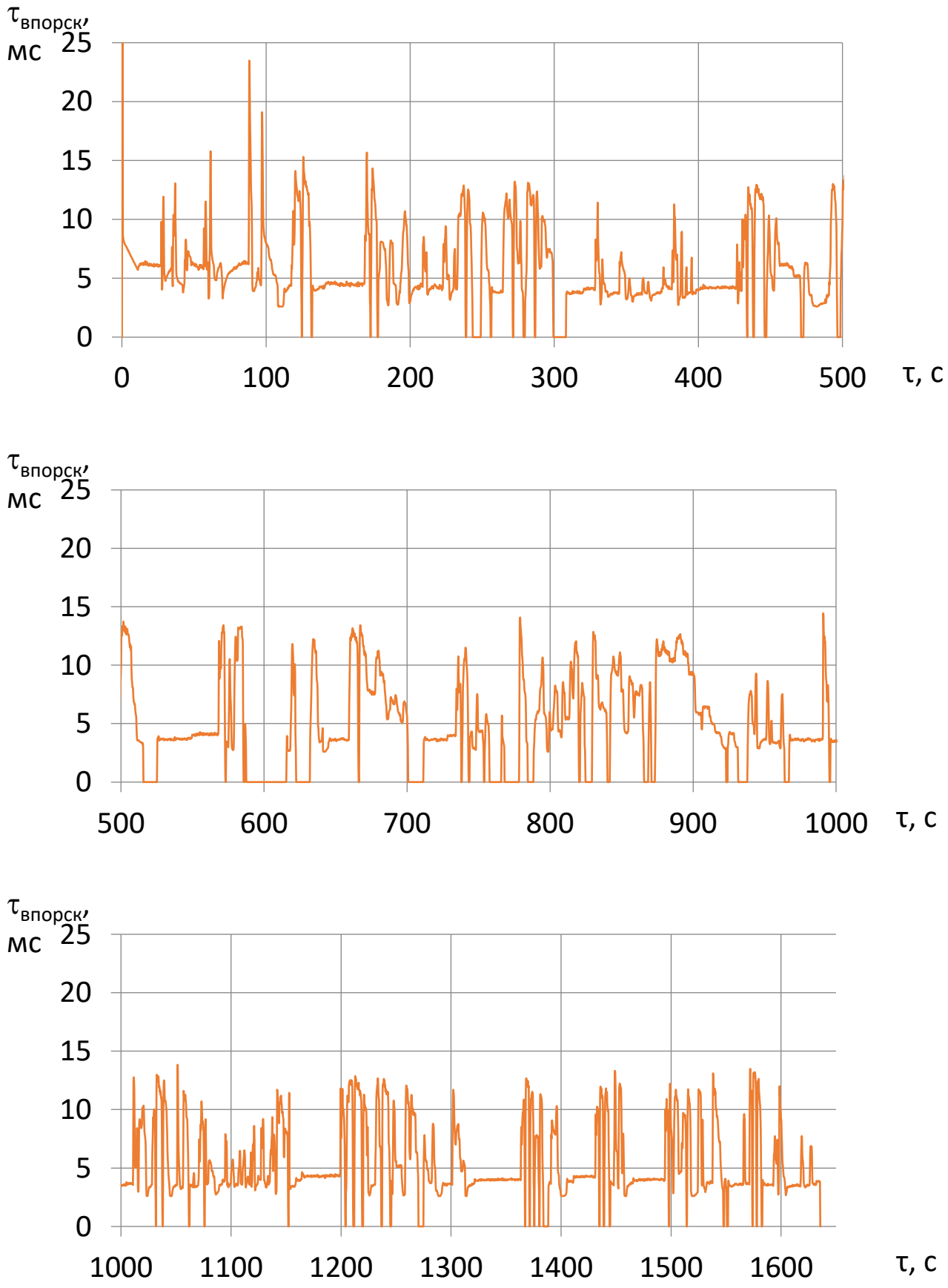


Рисунок 6.13 – Динаміка зміни тривалості впорскування палива в робочому циклі двигуна КТЗ

З використанням комп’ютерної програми (додаток Г) на основі математичних залежностей, що описують ЕУ КТЗ (розділ 4), визначено поточні параметри навантаження двигуна в процесі руху КТЗ. Принцип розрахунку, у цьому випадку, полягає у визначенні таких параметрів роботи двигуна КТЗ, які забезпечують, отримані під час моніторингу дійсного руху КТЗ, значення витрати повітря двигуном. На рис. 6.14 представлено фрагмент отриманих в результаті розрахунку даних.

На рис. 6.15 представлено отримані значення крутного моменту двигуна під час руху на цьому маршруті. Ці значення характеризують дійсний крутний момент, який розвивав двигун в процесі руху, внаслідок управляючих дій з боку водія в залежності від поточних дорожніх і транспортних умов. Для оптимального управління КТЗ для забезпечення мінімальних витрати палива та викидів шкідливих речовин дійсні значення крутного моменту двигуна мають корелюватись з необхідними з урахуванням поточних умов руху.

Важливою складовою процесу оцінювання динамічних властивостей КТЗ під час руху на маршруті є визначення поточних передаточних чисел трансмісії та значень кута нахилу дороги, від якого залежить дійсний коефіцієнт дорожнього опору руху КТЗ.

Для визначення поточних передаточних чисел трансмісії використовується комп’ютерна програма, текст якої наведено у додатку Д. Розрахунок ведеться згідно поточної швидкості КТЗ та частоти обертання колінчастого валу двигуна з урахуванням процесу буксування зчеплення та режиму роботи двигуна (холостий хід, примусовий холостий хід, навантажений режим). Запропонований алгоритм розрахунку передаточного числа дозволяє визначати його в поточних умовах під час руху КТЗ.

Приклад розрахунку передаточних чисел для випадку руху КТЗ на досліджуваному маршруті наведено на рис. 6.16. Аналіз отриманих даних показує, що низькі передачі переважають під час руху КТЗ в заторі (1000…1150 с); під час руху по магістральній частині маршруту переважно використовується IV передача; при русі в умовах звичайних вулиць – III передача.

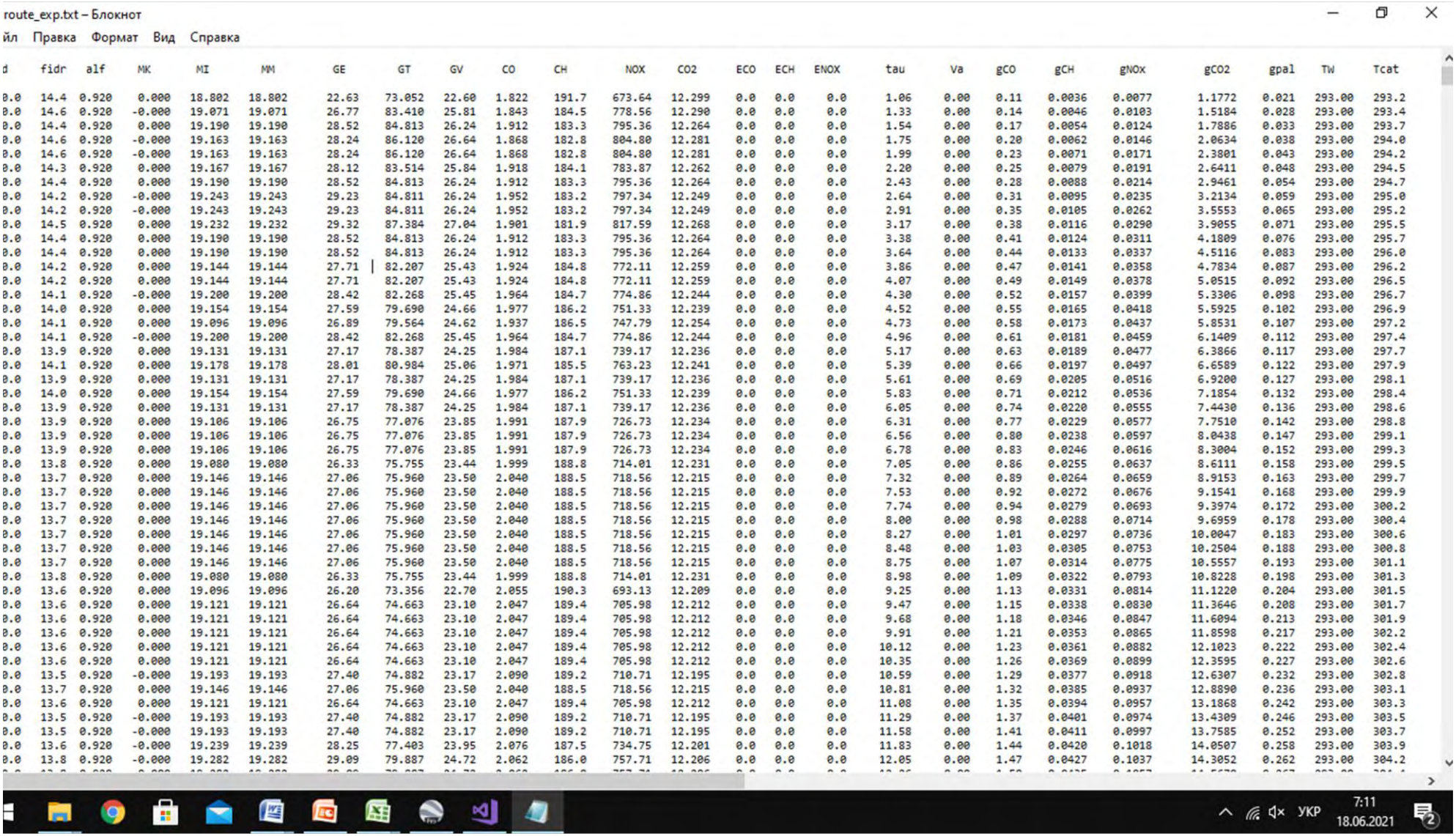


Рисунок 6.14 – Фрагмент розрахованих на основі результатів моніторингу руху КТЗ даних

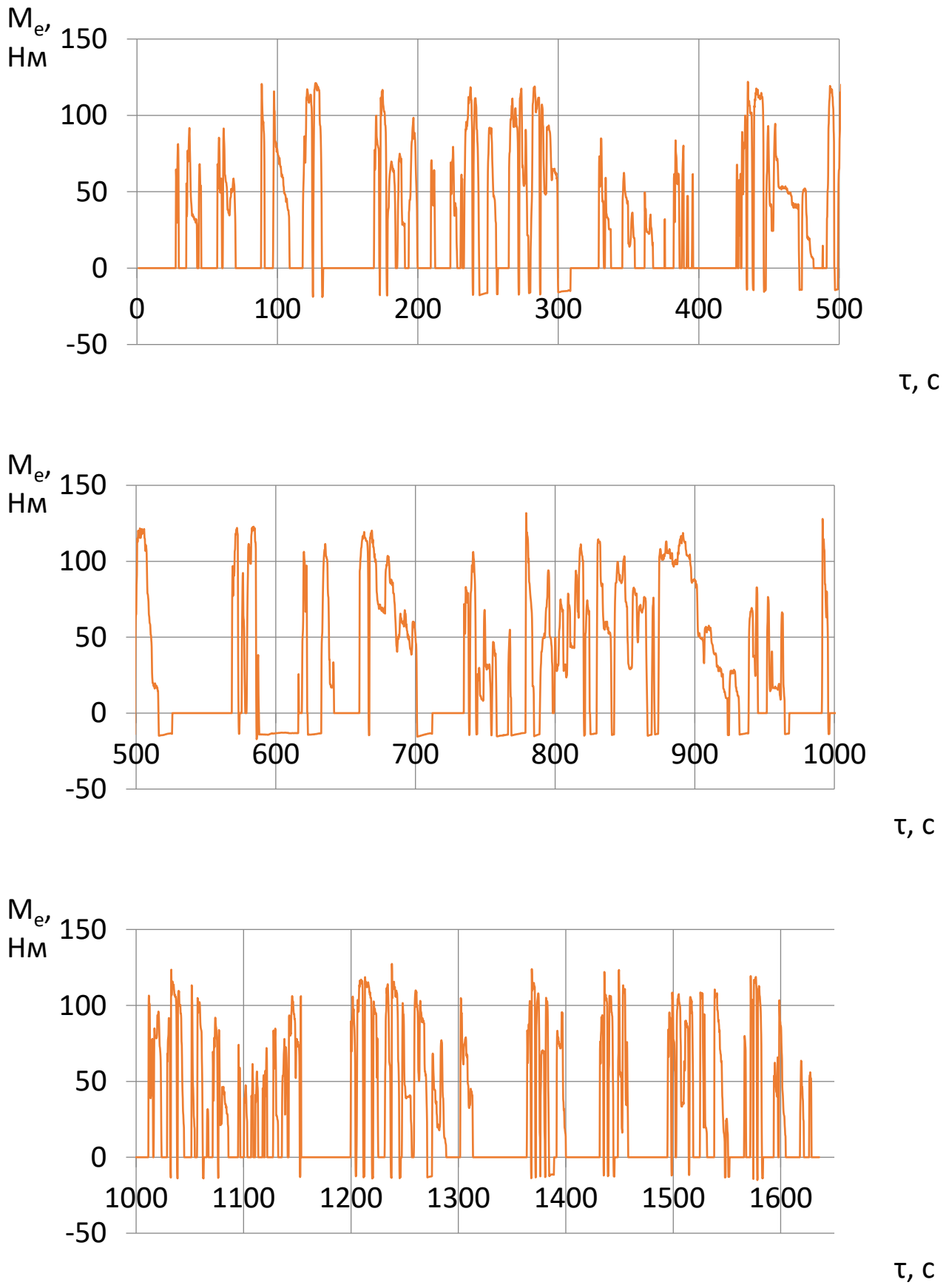


Рисунок 6.15 – Розраховані значення крутного моменту двигуна під час руху КТЗ на маршруті

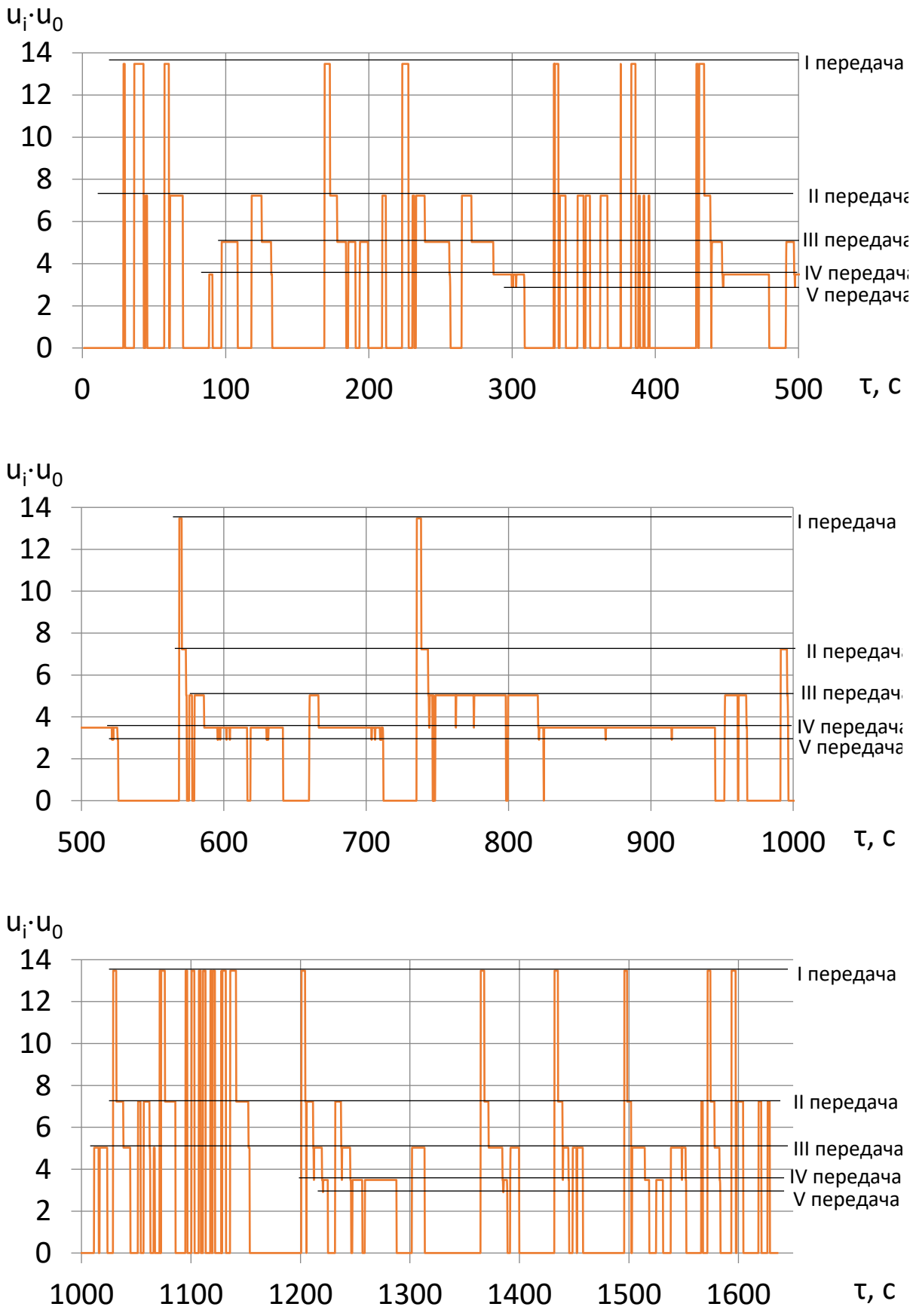


Рисунок 6.16 – Поточні значення передаточного числа трансмісії під час руху КТЗ на маршруті

Для визначення поточних значень кута нахилу дороги використовуються дані профілю висот дорожнього полотна над рівнем моря, визначені на основі поточних географічних координат місцезнаходження КТЗ. З цією метою використовується база супутникових даних про висоту над рівнем моря компанії Google (рис. 6.17).

Для експорту даних про висоту над рівнем моря у поточному місцезнаходженні КТЗ використовується комп'ютерна програма, побудована на основі використання Google API Elevation. Вихідний код головної сторінки програми наведено у додатку Е. Програма дозволяє на основі аналізу вихідного файлу з поточним розташуванням КТЗ, отриманого від бортового ІПК в процесі руху КТЗ (рис. 6.4), отримати дані у текстових файлах щодо поточного часу у форматі «год.год. хв.хв. с.с.» (файл time.txt), поточних координат (файл coordinates.txt), поточної висоти над рівнем моря (elevation.txt), поточного проміжку шляху КТЗ (файл distance.txt) та поточного кута нахилу дороги (файл roadres.txt).

Якщо мітки часу, отримані для даних поточного місцезнаходження КТЗ, відрізняються за кроком від міток часу для даних бортової системи OBD, то виконується синхронізація отриманих даних висоти, відповідно до міток часу бортової системи OBD за допомогою спеціально розробленої програми (додаток Ж).

В результаті отримані дані щодо поточного кута нахилу дороги виводяться в окремий файл відносно часу руху КТЗ (рис. 6.18).

За отриманими значеннями кута нахилу дороги визначаються поточні значення, необхідного, у даних умовах руху, крутного моменту двигуна (моменту опору руху, приведеного до валу двигуна) для оптимального управління КТЗ (рис. 6.19). З отриманих даних щодо моменту опору руху видно, що у різні моменти часу спостерігається відхилення в бік збільшення або зменшення поточного крутного моменту двигуна відносно моменту опору. Величина надлишкового або недостатнього відносно моменту опору поточного крутного моменту двигуна

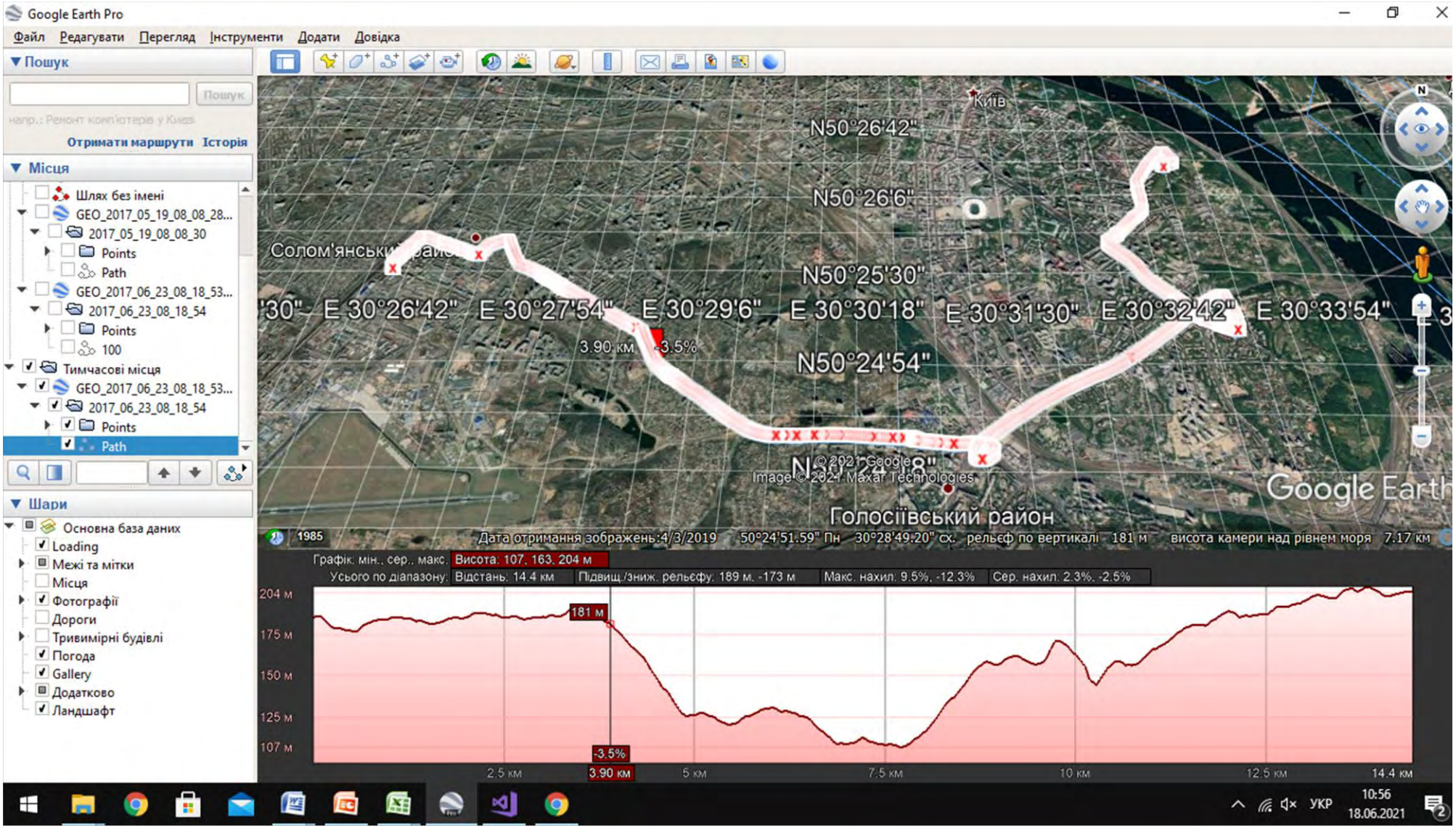


Рисунок 6.17 – Профіль висот дорожнього полотна над рівнем моря, визначений на основі поточних географічних координат місцезнаходження КТЗ

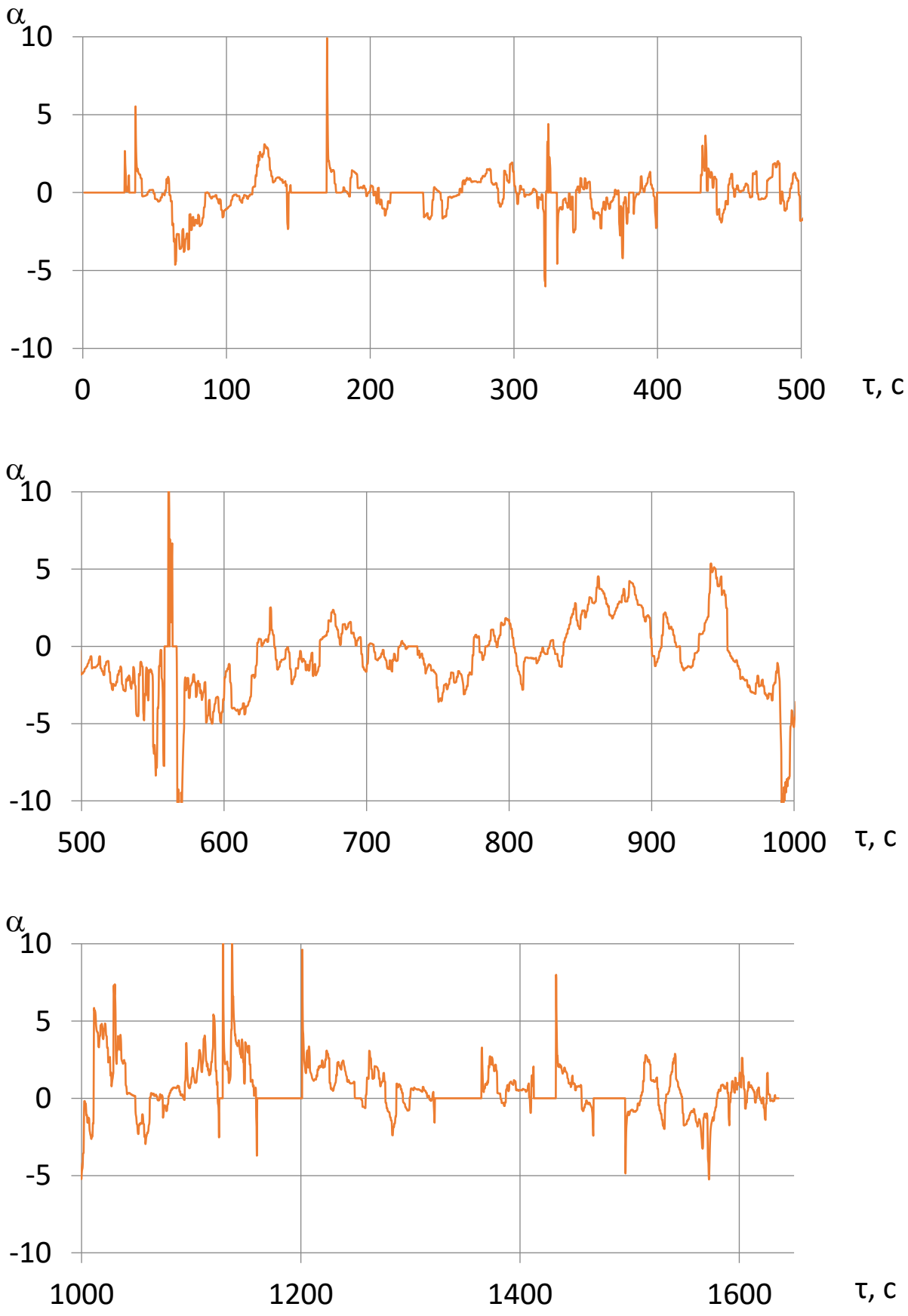


Рисунок 6.18 – Поточні дані щодо кута нахилу дороги під час руху КТЗ на маршруті

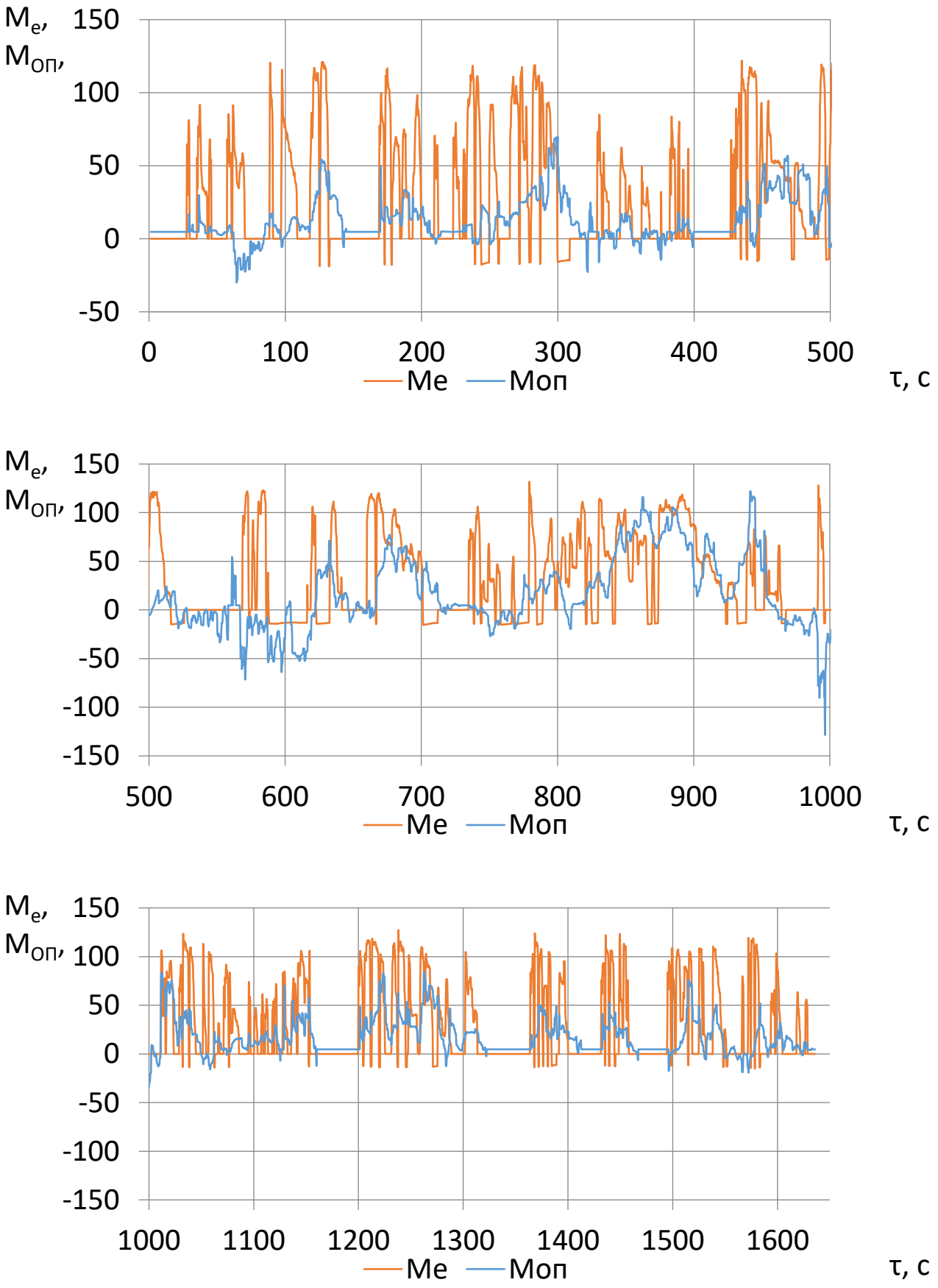


Рисунок 6.19 – Поточні дані щодо моменту опору та крутного моменту на валу двигуна під час руху КТЗ на маршруті

(крім режимів холостого ходу двигуна, коли його від'єднано від трансмісії, а швидкість руху визначається дорожніми умовами та впливом гальмівної системи, та режимів примусового холостого ходу, коли також проявляється вплив гальмівної системи) буде визначати режим руху КТЗ відповідно з прискоренням або сповільненням. Прискорений або сповільнений рух КТЗ буде формуватися дійсними умовами руху на маршруті. Тоді з використанням залежностей математичної моделі (розділ 4) значення дійсного крутного моменту двигуна будуть вибиратись такими, що забезпечують заданий закон руху КТЗ у поточних дорожніх умовах.

6.3 Оцінка витрати палива і шкідливих викидів у складі системи управління експлуатаційною ефективністю КТЗ в процесах руху

Витрата палива КТЗ в процесі руху за маршрутом визначається на основі даних бортової системи моніторингу. Базовою величиною для розрахунку пробігової (г/км) та сумарної (г за маршрут) витрат палива є значення поточної масової годинної витрати палива. Масова годинна витрата палива визначається за формулою, кг/год:

$$G_{\text{пал}} = V_{\text{пал}} \cdot \rho_{\text{пал}}, \tag{6.2}$$

де $V_{\text{пал}}$ – поточна об'ємна годинна витрата палива, л/год;

$\rho_{\text{пал}}$ – густина палива, кг/л.

Існує кілька способів визначення поточної об'ємної годинної витрати палива:

- автоматичне визначення системою управління двигуном;

- розрахунок на основі тривалості впорскування, продуктивності паливних форсунок та частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Перший спосіб не вимагає додаткових обчислень, але може мати похибку визначення, пов'язану із поточним моментом визначення витрати палива бортовою

системою. Ця похибка може бути значною у неусталених режимах руху. За другим способом об’ємна витрата палива визначається за формулою:

$$V_{\text{пал}} = \frac{30 \cdot n_{\text{д}} \cdot i_{\text{ц}} \cdot Q_{\text{форс}} \cdot \tau_{\text{впорск}}}{k_{\text{впорск}} \cdot 10^6}, \quad (6.3)$$

де $Q_{\text{форс}}$ – продуктивність паливної форсунки при номінальному тиску в системі паливоподачі, мкл/мс, визначена виробником. Наприклад, продуктивність форсунки двигуна ВАЗ-21114 складає 2,59 мкл/мс;

$\tau_{\text{впорск}}$ – циклова тривалість впорскування палива, мс;

$k_{\text{впорск}}$ – коефіцієнт корекції циклової подачі палива, який враховує відхилення фактичної продуктивності форсунок від номінальної, корекцію подачі палива за сигналами датчика кисню, тощо.

На рис. 6.20 показано фрагмент визначення об’ємної витрати палива різними способами під час руху КТЗ на маршруті. Із представлених даних видно, що спосіб визначення об’ємної витрати палива має значний вплив на її величину.

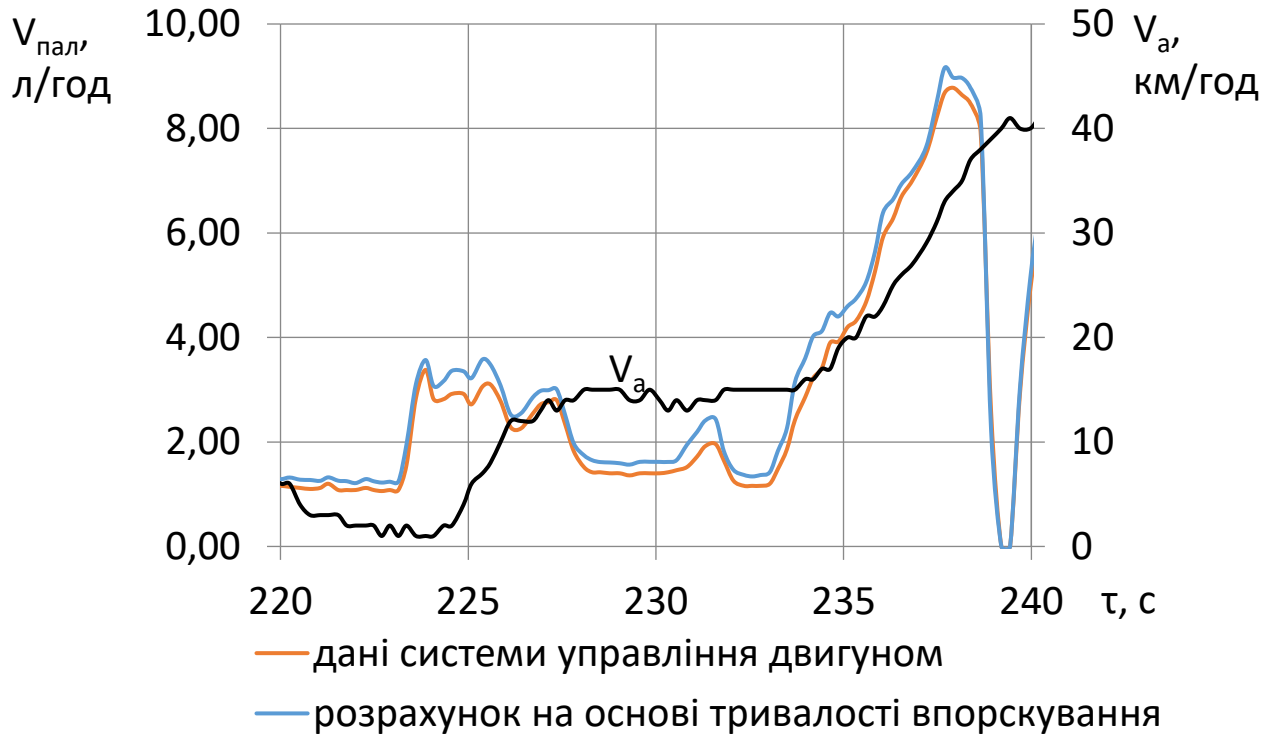


Рисунок 6.20 – Визначення об’ємної витрати палива різними способами під час руху КТЗ на маршруті

Густина палива значною мірою залежить від його температури. Оскільки, системи управління поширених типів КТЗ в більшості не мають у складі системи управління двигуном датчика температури палива, а значення цього параметра залежить в основному від часу роботи двигуна, то на основі експериментальних даних було прийнято, що поточна густина палива описується часовою залежністю, кг/л:

$$\rho_{\text{пал}} = -0.00001361 \cdot \tau + \rho_{\text{пал}}^{\text{поч}}, \tag{6.4}$$

де τ – час з моменту пуску двигуна, с;

$\rho_{\text{пал}}^{\text{поч}}$ – початкова густина палива за даної температури навколишнього середовища, кг/л.

Отримана часова залежність масової годинної витрати палива представлена на рис. 6.21.

Но основі отриманих даних щодо годинної витрати палива, шляху та часу руху визначають пробігову (рис. 6.22) та сумарну (рис. 6.23) витрати палива за маршрут.

Викиди шкідливих речовин під час руху КТЗ на маршруті визначаються розрахунковим способом на основі концентрацій шкідливих речовин у ВГ та ефективності роботи системи нейтралізації.

Концентрації шкідливих речовин у ВГ до обробки нейтралізатором визначаються на основі поточних даних про режим роботи енергоустановки за залежностями математичної моделі (розділ 4). На рис. 6.24–6.27 представлені часові залежності концентрацій шкідливих речовин у ВГ під час руху КТЗ на дослідному маршруті.

Ефективність роботи системи нейтралізації залежить від температури нейтралізатора. Остання визначається шляхом моделювання на основі залежностей математичної моделі (розділ 4). Отримані часові залежності температури нейтралізатора та ефективності нейтралізації окремих речовин представлені на рис. 6.28.

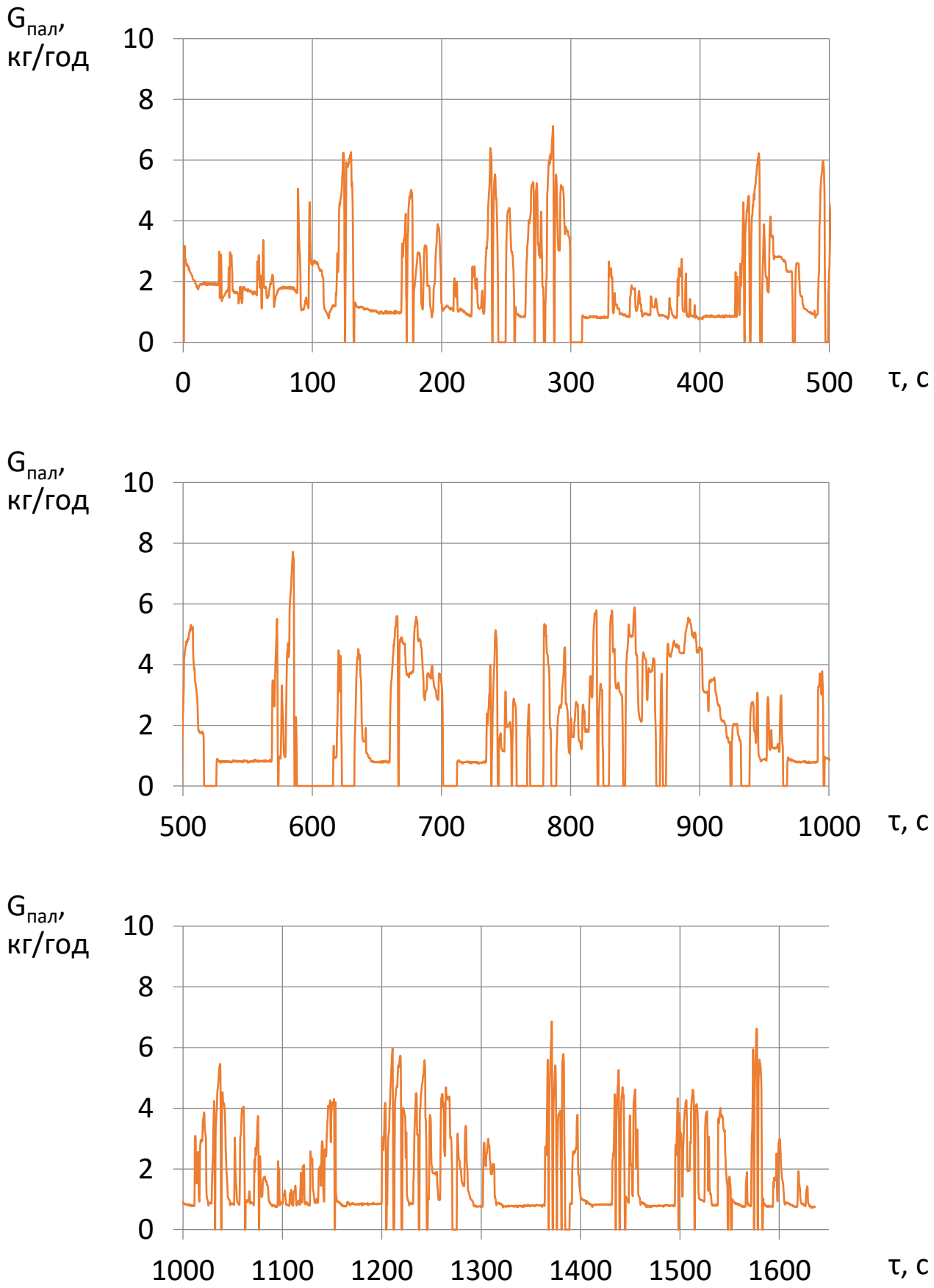


Рисунок 6.21 – Часова залежність масової годинної витрати палива під час руху КТЗ на дослідному маршруті

Рисунок 6.22 – Пробігова витрата КТЗ на дослідному маршруті

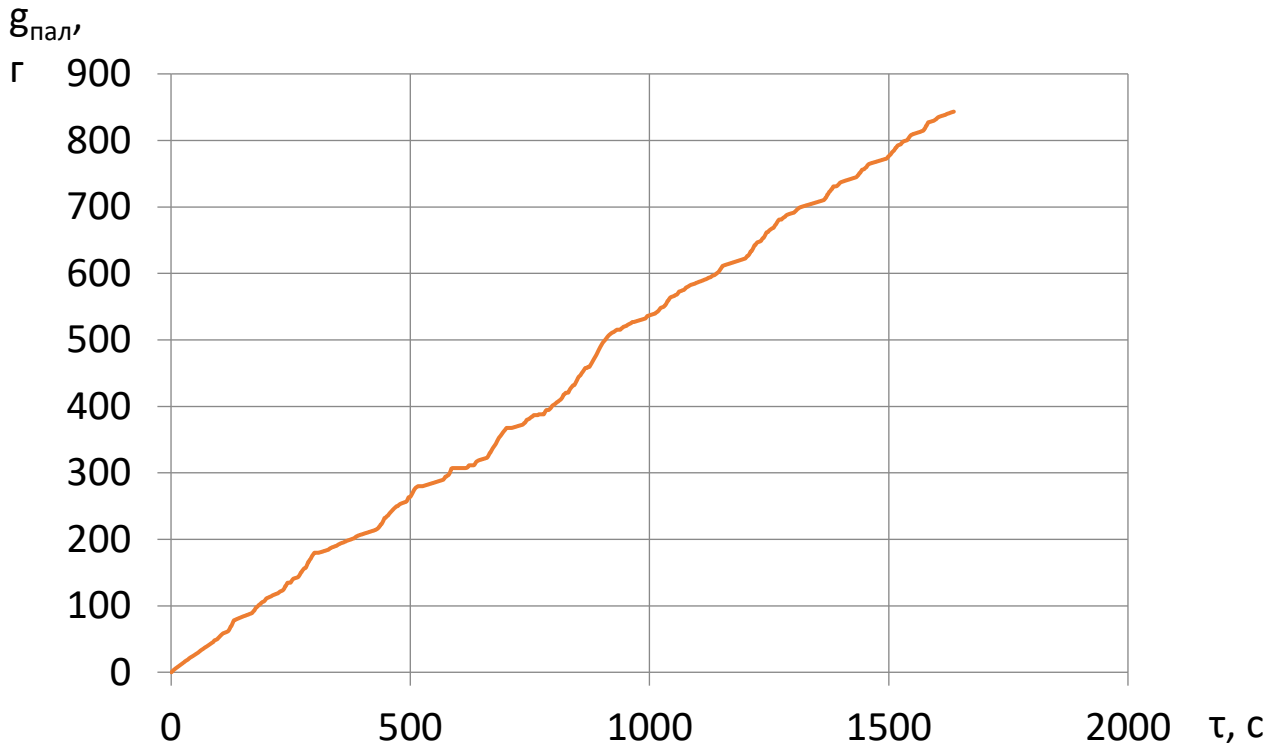


Рисунок 6.23 – Сумарна витрата КТЗ на дослідному маршруті

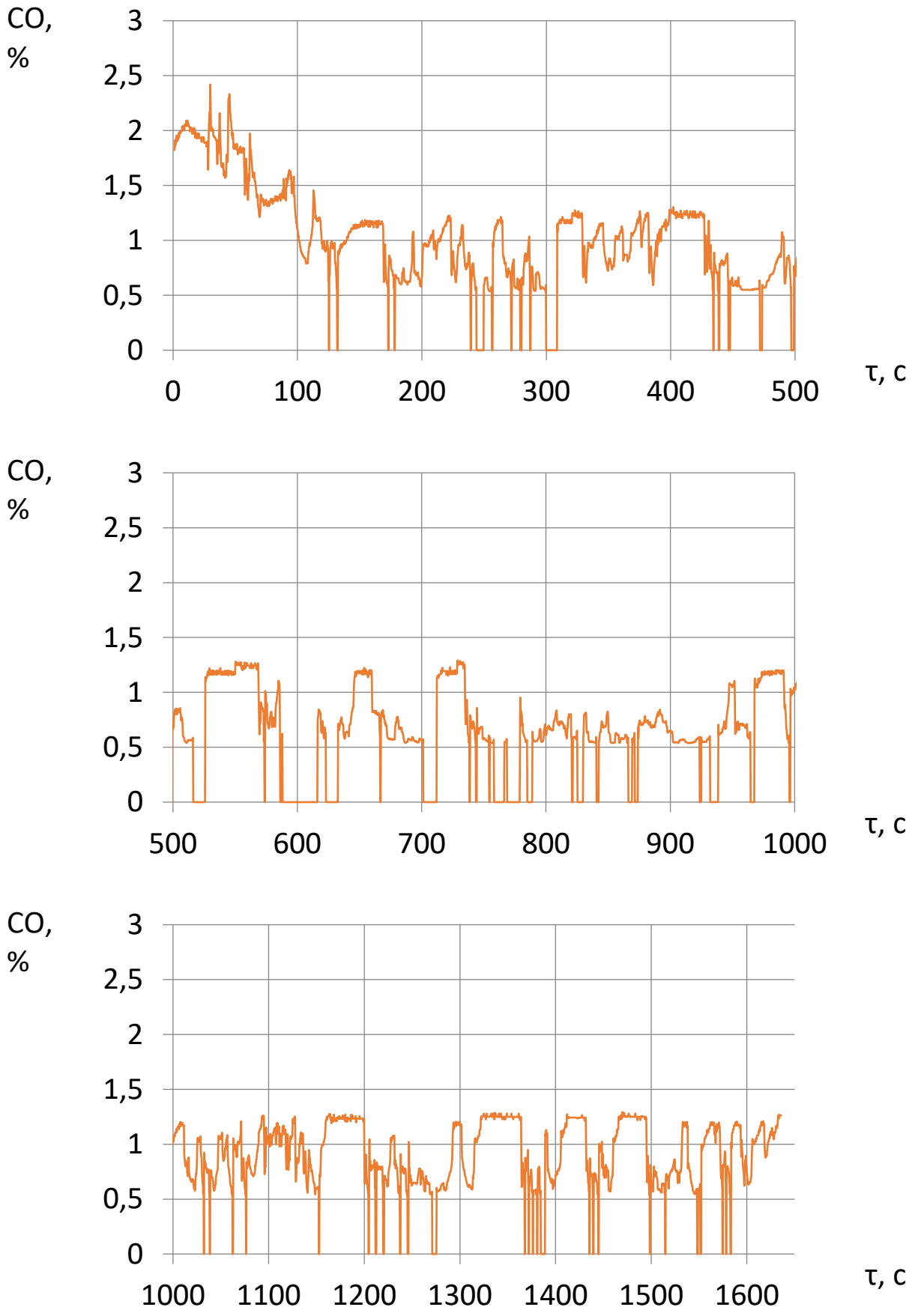


Рисунок 6.24 – Залежність концентрації CO у ВГ до обробки у нейтралізаторі під час руху КТЗ на дослідному маршруті

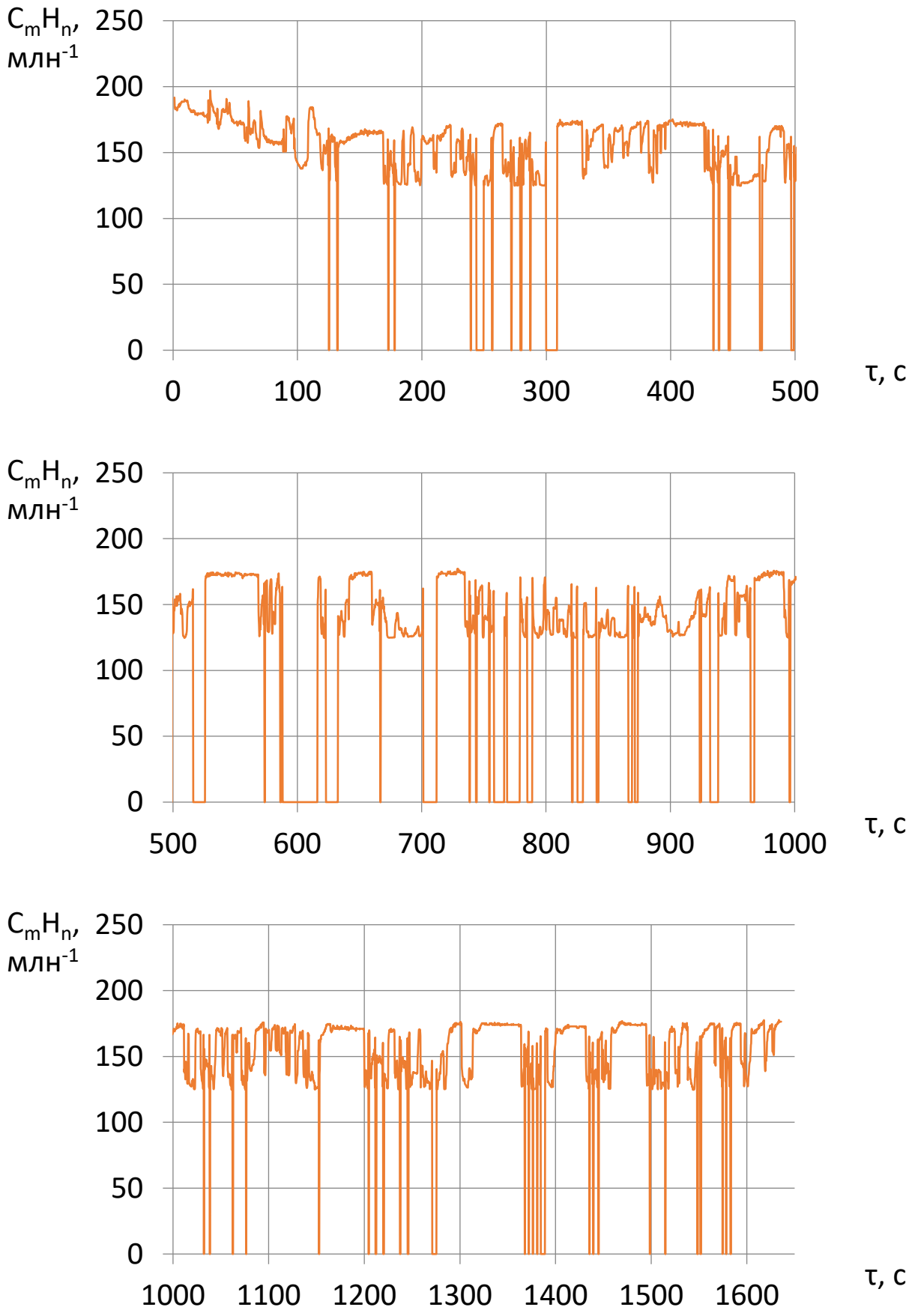


Рисунок 6.25 – Залежність концентрації C_mH_n у ВГ до обробки у нейтралізаторі під час руху КТЗ на дослідному маршруті

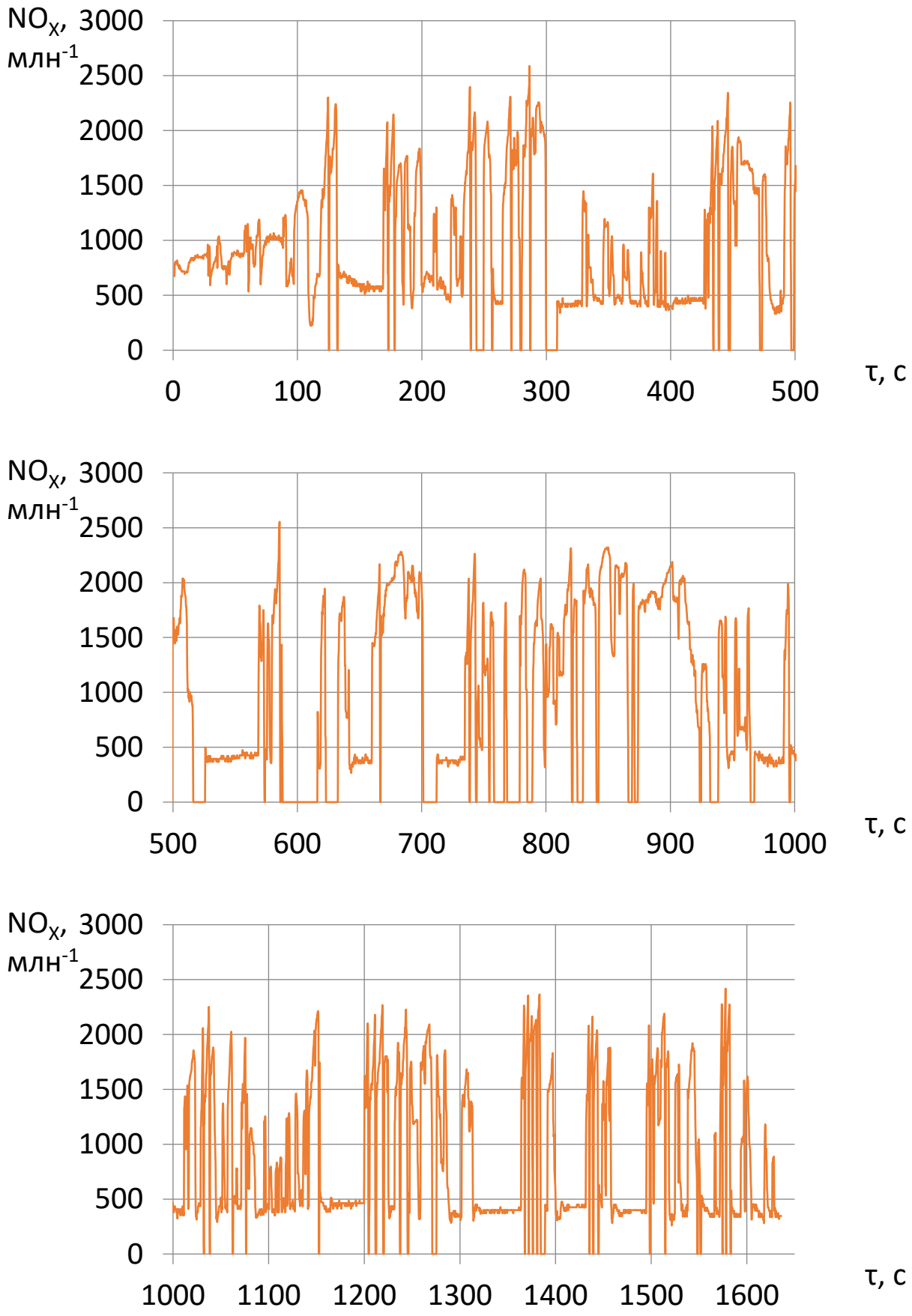


Рисунок 6.26 – Залежність концентрації NO_X у ВГ до обробки у нейтралізаторі під час руху КТЗ на дослідному маршруті

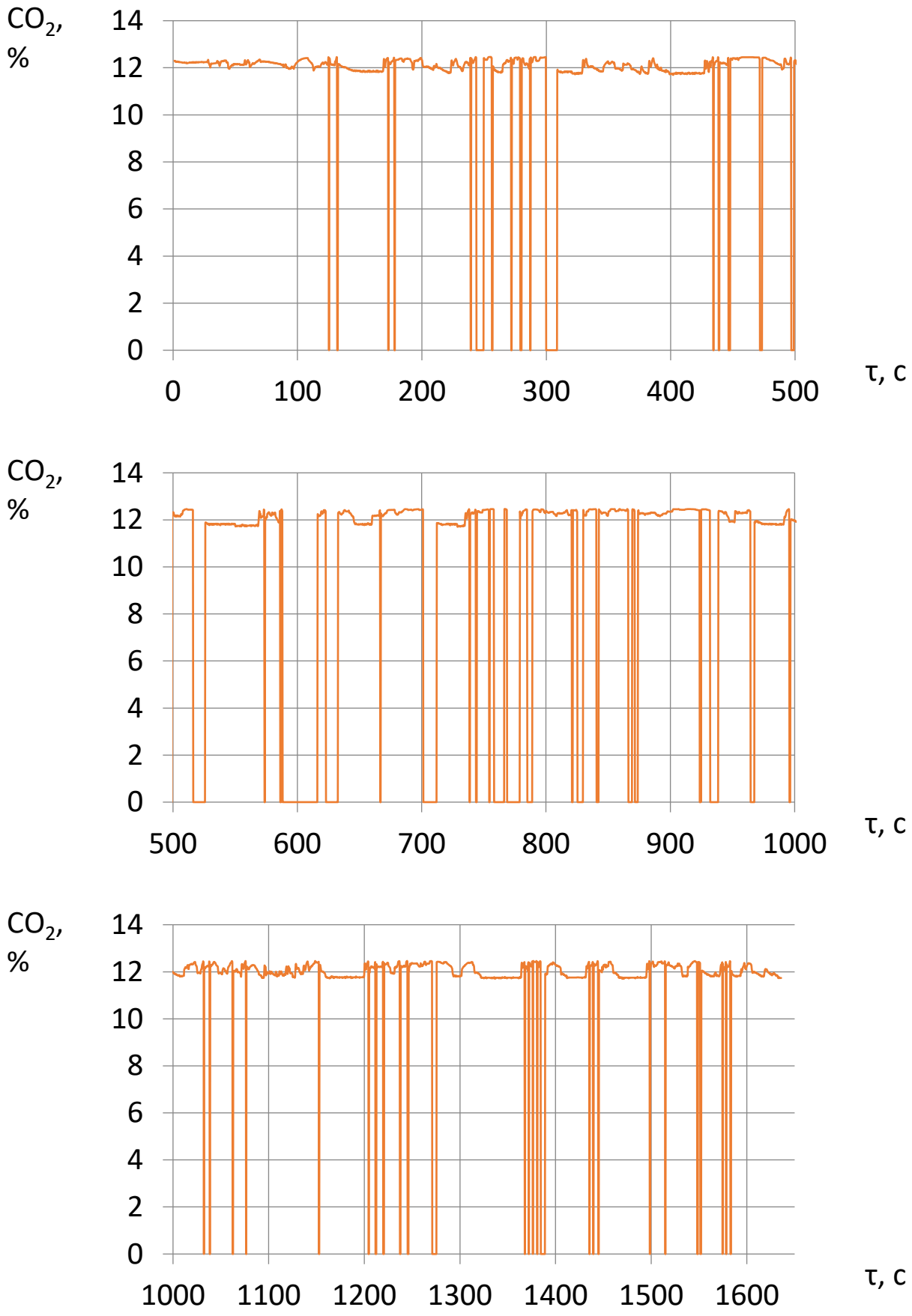


Рисунок 6.27 – Залежність концентрації CO_2 у ВГ до обробки у нейтралізаторі під час руху КТЗ на дослідному маршруті

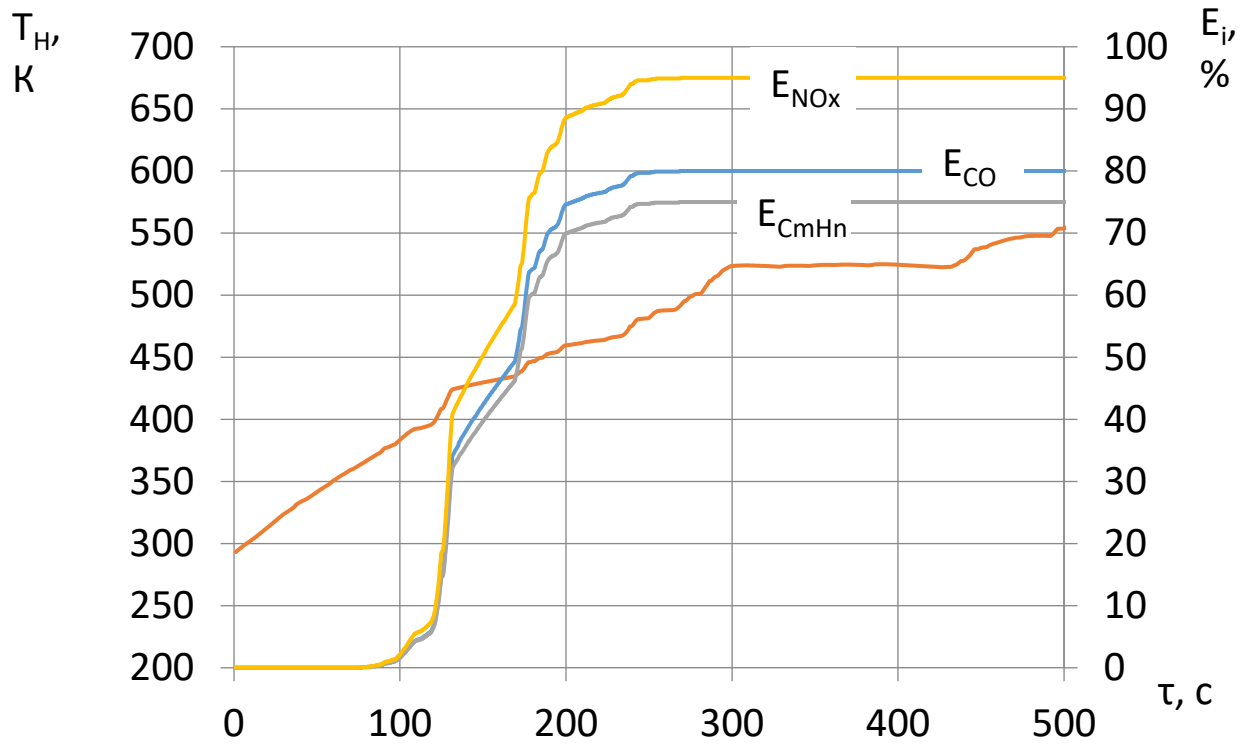


Рисунок 6.28 – Часові залежності температури нейтралізатора та ефективності нейтралізації окремих речовин під час руху КТЗ на дослідному маршруті

На основі отриманих залежностей витрати повітря (рис. 6.12), витрати палива (рис. 6.21), концентрацій шкідливих речовин до нейтралізатора (рис. 6.24-6.27) та ефективності нейтралізації (рис. 6.28), часу руху та пройденого шляху КТЗ (рис. 6.8) з використанням залежностей математичної моделі отримано часові залежності пробігових (рис. 6.29-6.32) та сумарних за маршрут (рис. 6.33-6.34) викидів шкідливих речовин.

Як видно із представлених результатів дослідження пробігових витрати палива та викидів під час руху КТЗ на дослідному маршруті (рис. 6.22, 6.29-6.32), отриманих з використанням системи управління експлуатаційною ефективністю, мінімальна пробігова витрата палива досягається орієнтовно на 1000-й с руху (рис. 6.22) після близько 10 км пройденого шляху (рис. 6.8). Нормовані викиди шкідливих речовин (для КТЗ ВАЗ-21101 використовуються норми Євро-2) досягаються у наступних часових проміжках руху / пройденого шляху КТЗ:

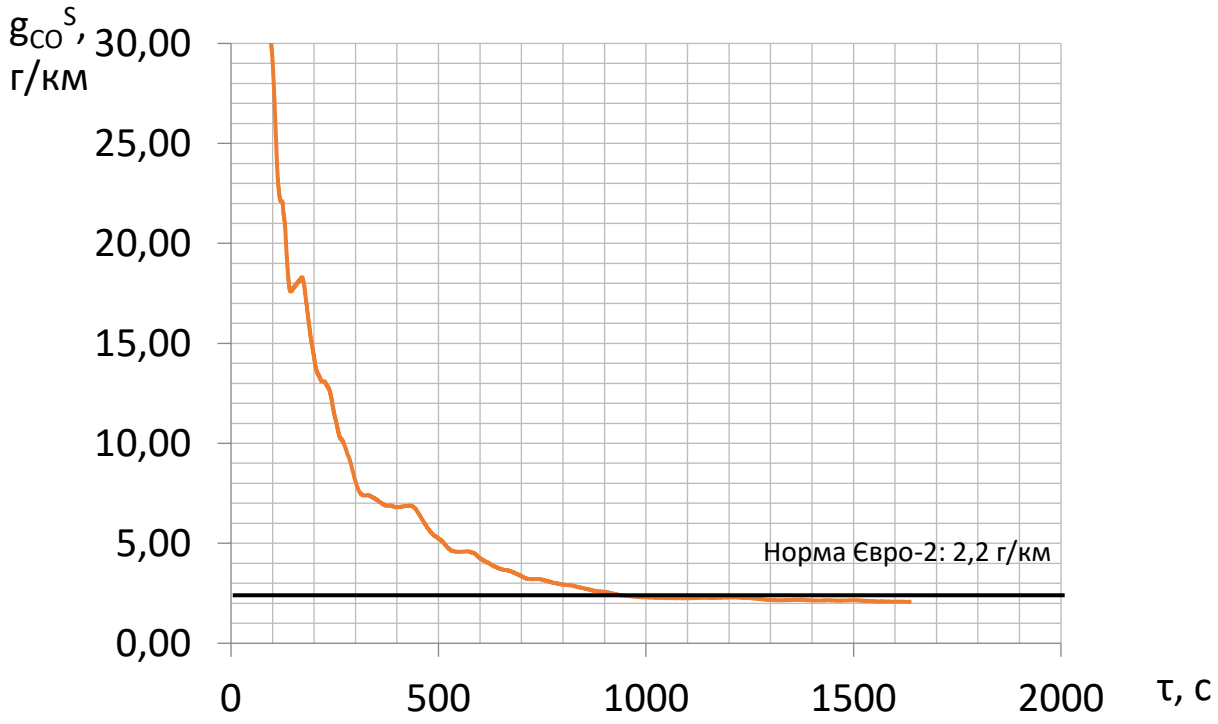


Рисунок 6.29 – Залежність пробігових викидів CO під час руху КТЗ на дослідному маршруті

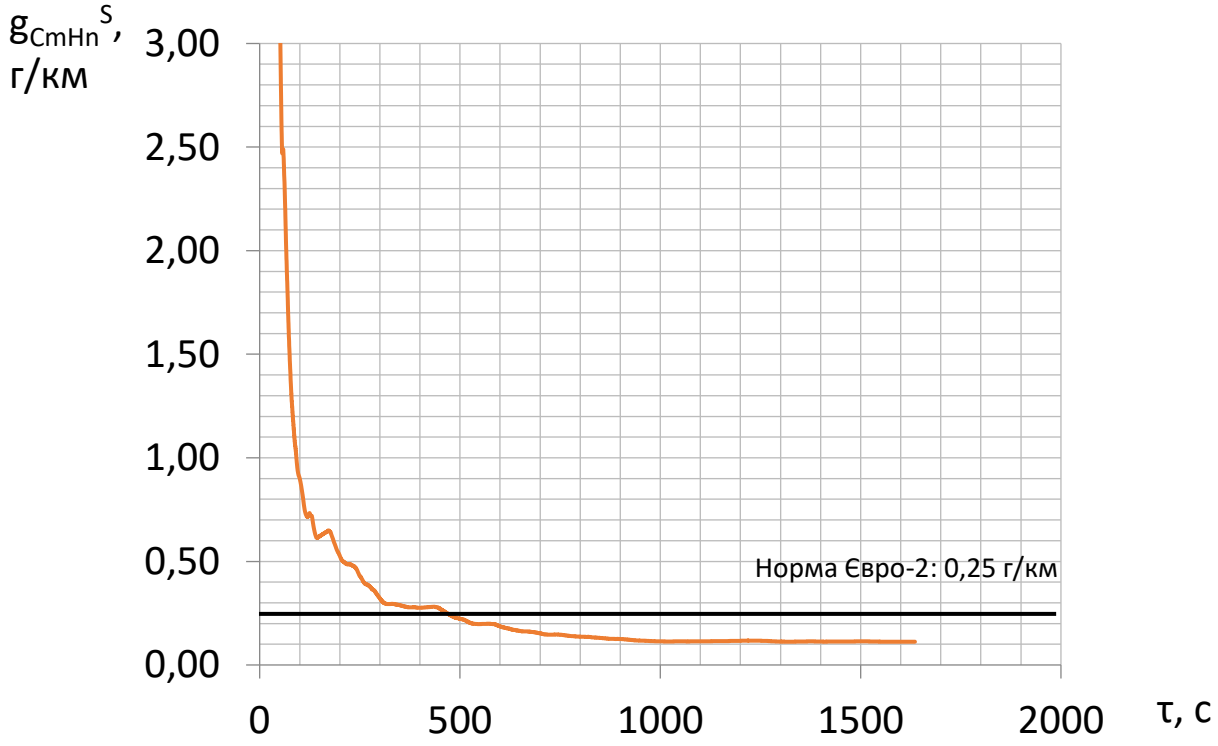


Рисунок 6.30 – Залежність пробігових викидів C_mH_n під час руху КТЗ на дослідному маршруті

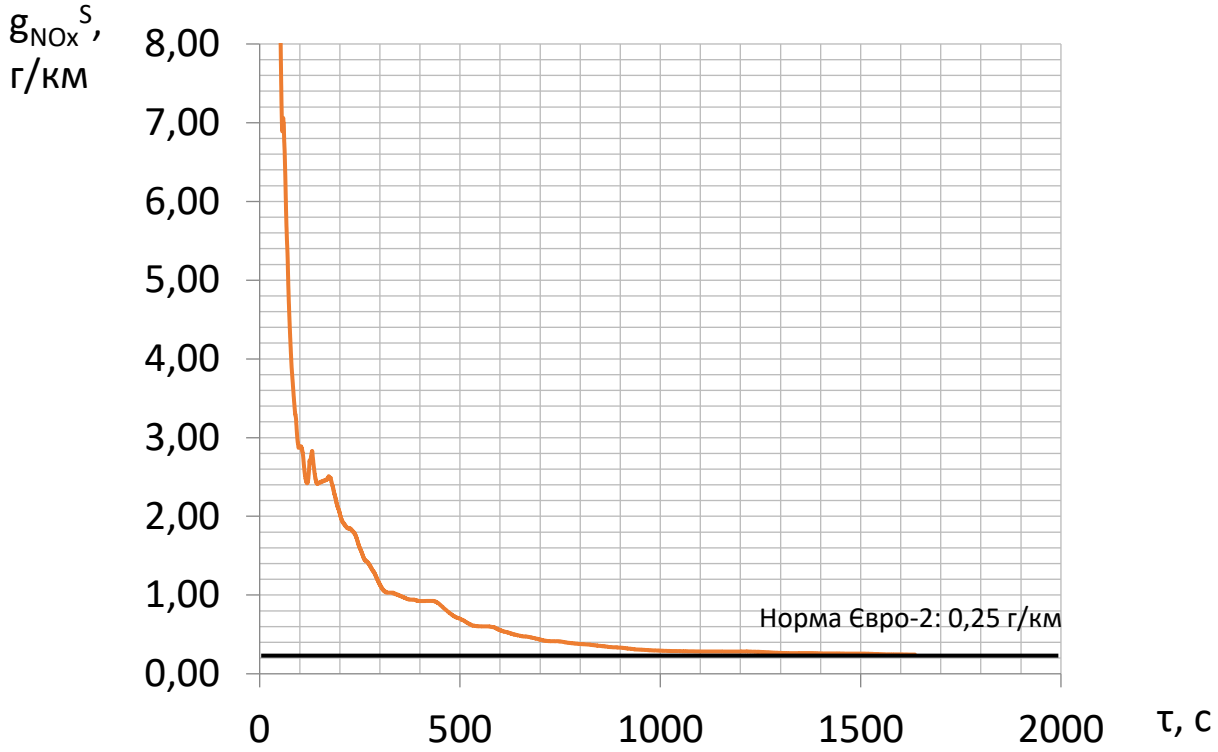


Рисунок 6.31 – Залежність пробігових викидів NO_x під час руху КТЗ на дослідному маршруті

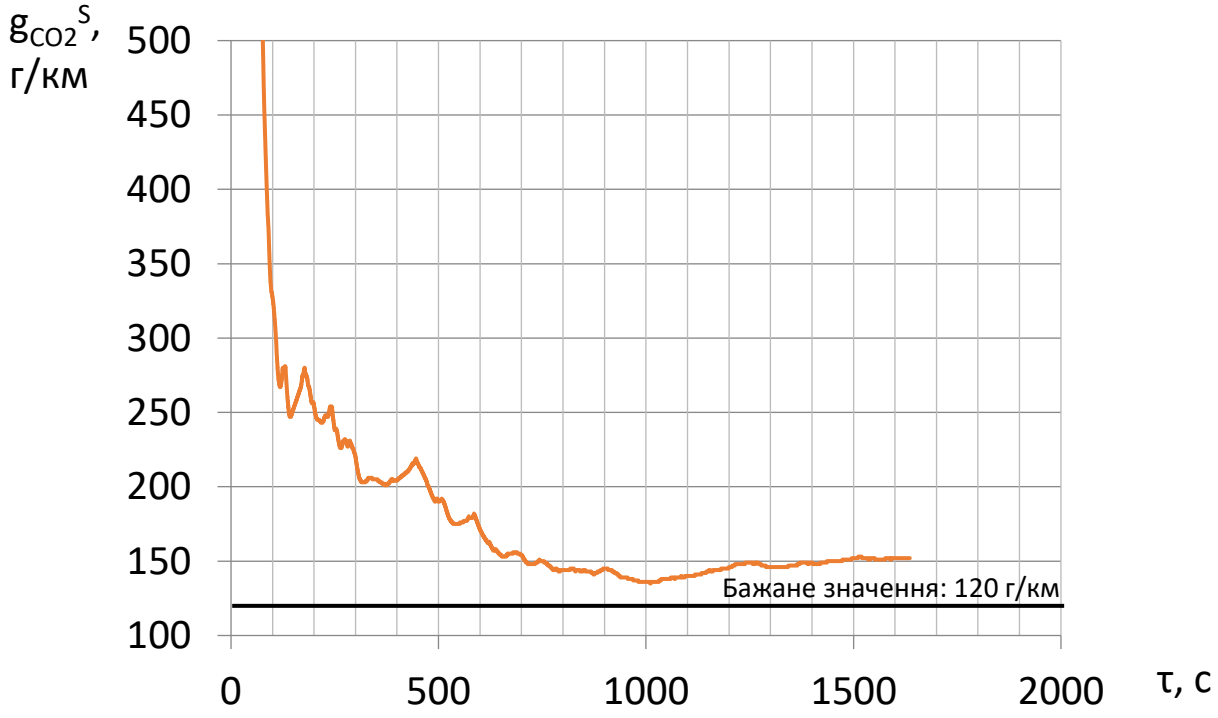


Рисунок 6.32 – Залежність пробігових викидів CO_2 під час руху КТЗ на дослідному маршруті

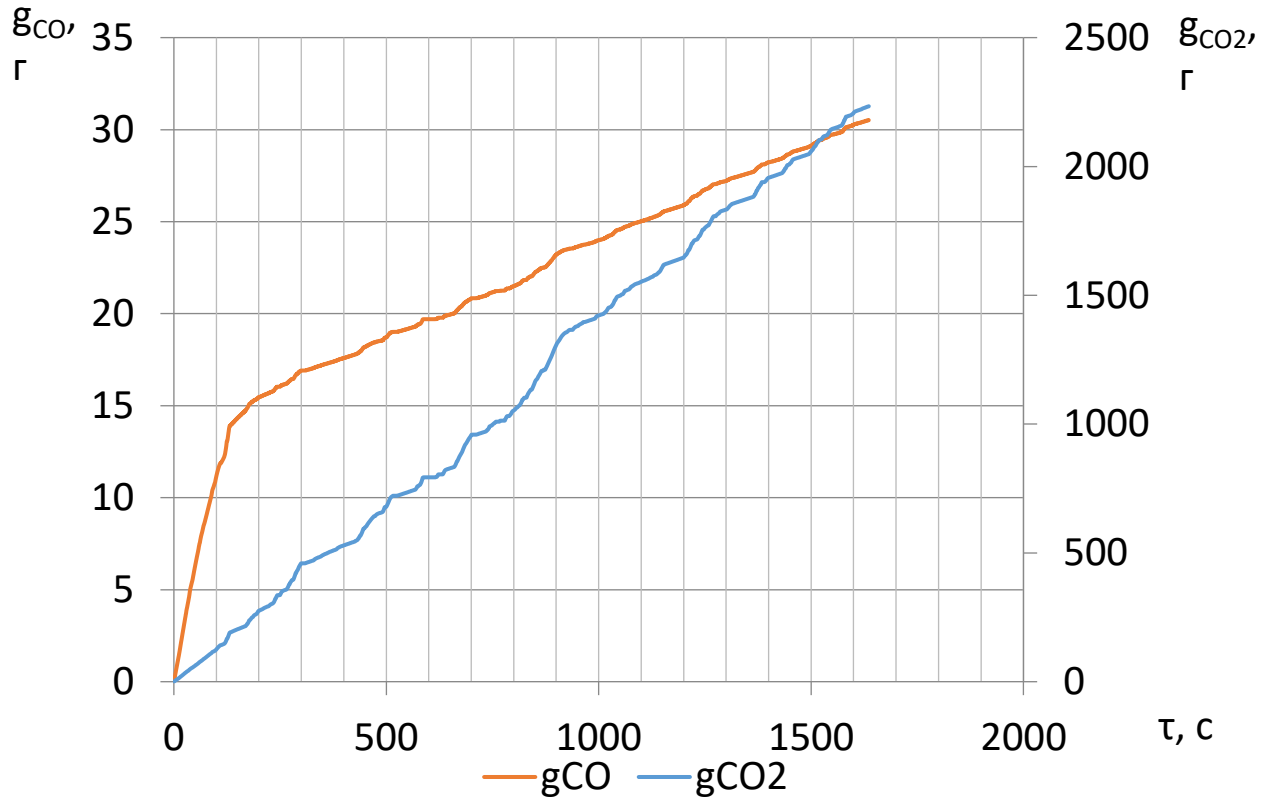


Рисунок 6.33 – Залежність сумарних викидів CO та CO_2 під час руху КТЗ на дослідному маршруті

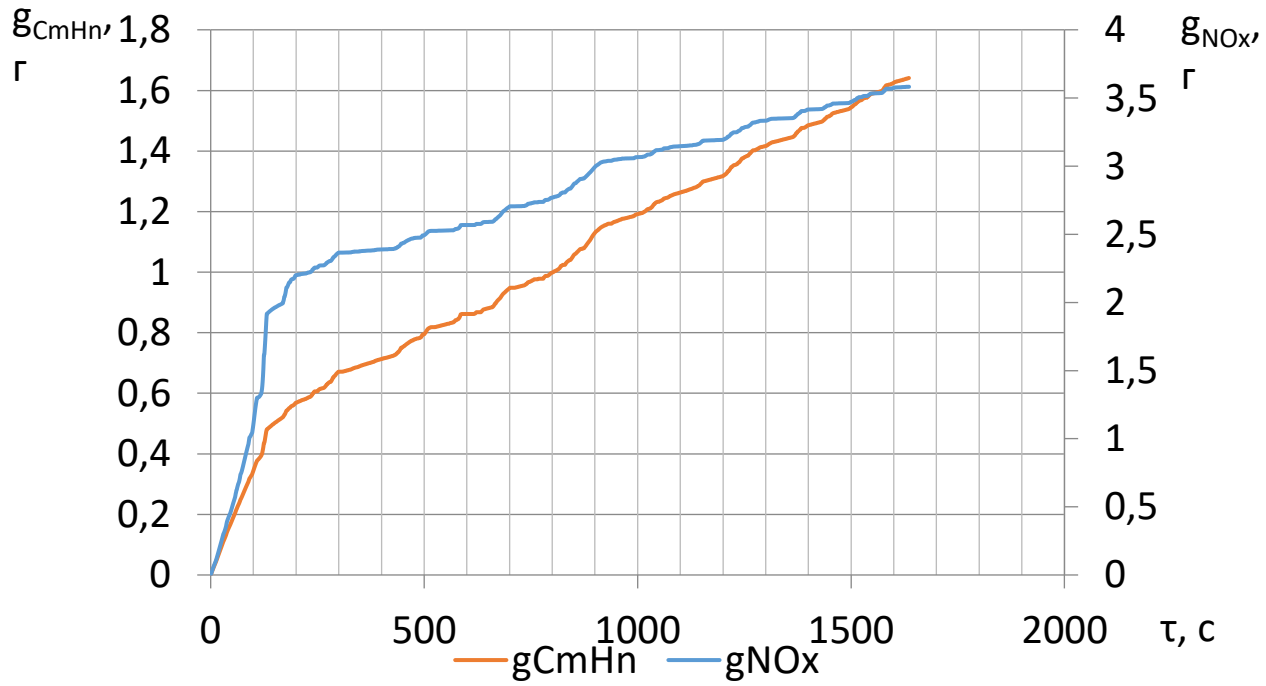


Рисунок 6.34 – Залежність сумарних викидів C_mH_n та NO_x під час руху КТЗ на дослідному маршруті

викиди C_mH_n (норма Євро-2: 0,25 г/км) – ≈475 с / 3 км (рис. 6.30); викиди NO_x (норма Євро-2: 0,25 г/км) – в кінці маршруту, ≈1650 с / 15 км (рис. 6.31); викиди CO (норма Євро-2: 2,2 г/км) ≈1000 с / 10 км (рис. 6.29). Бажане значення викидів CO_2 120 г/км не досягається на данному маршруті, мінімальне значення викидів CO_2 136 г/км (рис. 6.32) досягається як і мінімальна пробігова витрата палива на 1000 с / 10 км.

Таким чином, базове управління КТЗ водієм не дозволяє забезпечити нормованих/бажаних значень витрати палива і викидів шкідливих речовин. З метою досягнення таких значень можливе використання оптимальних алгоритмів управління КТЗ за навантаженням енергоустановки відповідно до умов руху та навантаження

6.4 Результати дослідження впливу алгоритму управління КТЗ на витрати енергії і викиди шкідливих речовин в умовах експлуатації

Дослідження впливу алгоритму управління КТЗ на витрати енергії і викиди шкідливих речовин проведено шляхом моделювання цих показників під час руху КТЗ 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.

Результати дослідження приведено на рис. 6.35-6.43. Як видно із представлених даних, оптимізація управління КТЗ дозволяє поліпшити часові рамки виходу показників експлуатації КТЗ на бажані та/або нормовані показники. Так, оптимальне управління тепловим станом КТЗ дозволяє зменшити час досягнення значення нормованих пробігових викидів СО з 1000 до 750 с та з 10 до 7 км пробігу (рис. 6.35). Відносне зменшення по часу складає близько 25 %, а по пробігу – 30 %. При цьому, лише оптимізація управління КТЗ практично не впливає на мінімальний пробіговий викид СО. Оптимізація управління швидкісним, навантажувальним та тепловим режимом ЕУ додатково зменшує час виходу на нормовані показники ще на 200 с. Оптимізація управління тільки швидкістю і навантаженням ЕУ має ефект дещо менший ніж оптимізація управління навантаженням та тепловим станом ЕУ.

Подібний вплив оптимальних алгоритмів управління спостерігається і на викиди CmHn (рис. 6.36). Час досягнення нормованого значення викидів скорочується з 475 до 375 с або на 21,1 %, пробіг – з 3 до 2,5 км або на 16,7 % при оптимальному управлінні тепловим станом двигуна КТЗ. Оптимальне управління навантажувальним режимом ЕУ також незначно зменшує ці показники. При цьому, додаткова оптимізація швидкісного режиму ЕУ має суттєвіший вплив: при додатковій оптимізації швидкості час виходу скорочується до 200 с, а при оптимізації швидкості і теплового стану – до 170 с.

Вплив алгоритмів управління на викиди NOx наведено на рис. 6.37. Оптимізація управління навантажувальним режимом ЕУ зменшує час виходу на нормовані пробігові викиди з 1650 до 1000 с або на 39,4 %, пробіг – з 15 до 10 км або на 33 %. Оптимальне управління тепловим станом ЕУ має дещо менш позитивний вплив на ці показники: час скорочується до 1150 с або на 30,3 %, а пробіг – до 11 км або на 26,7 %. Але найбільш позитивно впливає оптимізація швидкісного і навантажувального режимів ЕУ. У цьому випадку час виходу викидів NOx на нормоване значення скорочується до 500 с.

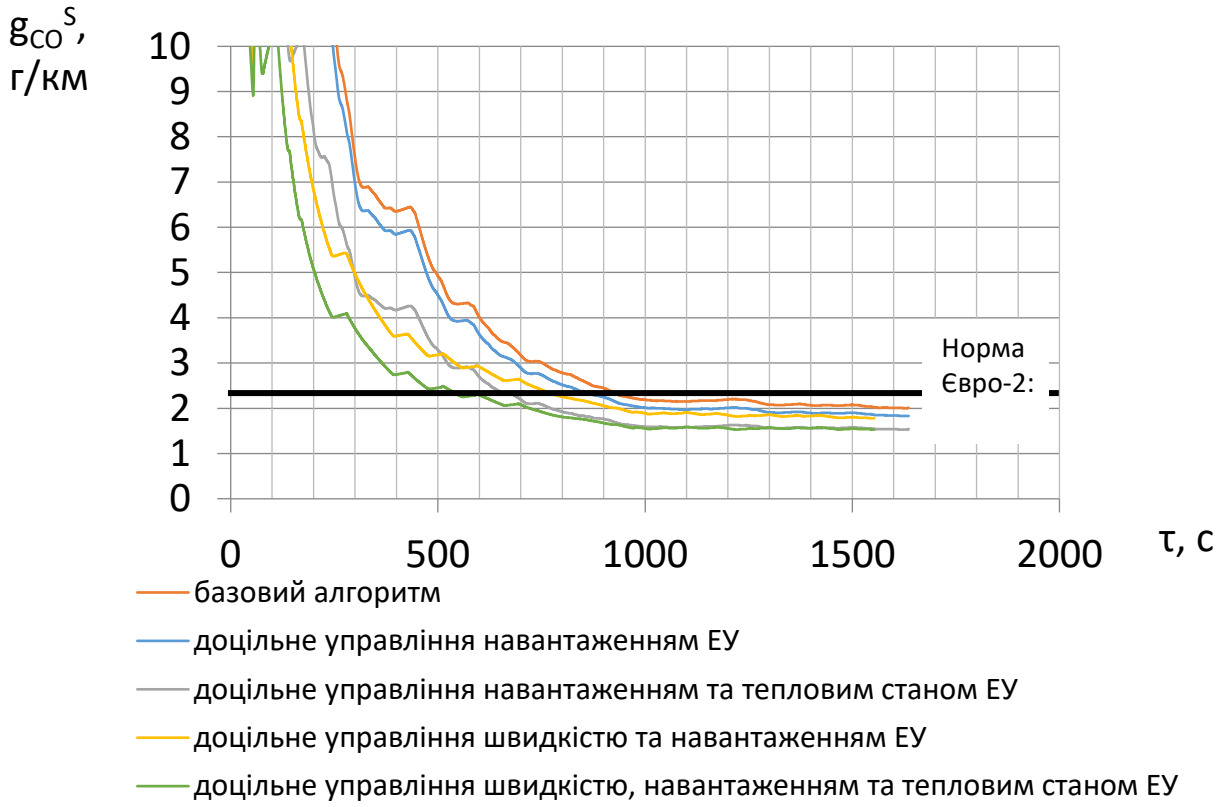


Рисунок 6.35 – Вплив алгоритму управління на пробігові викиди CO під час руху КТЗ на дослідному маршруті

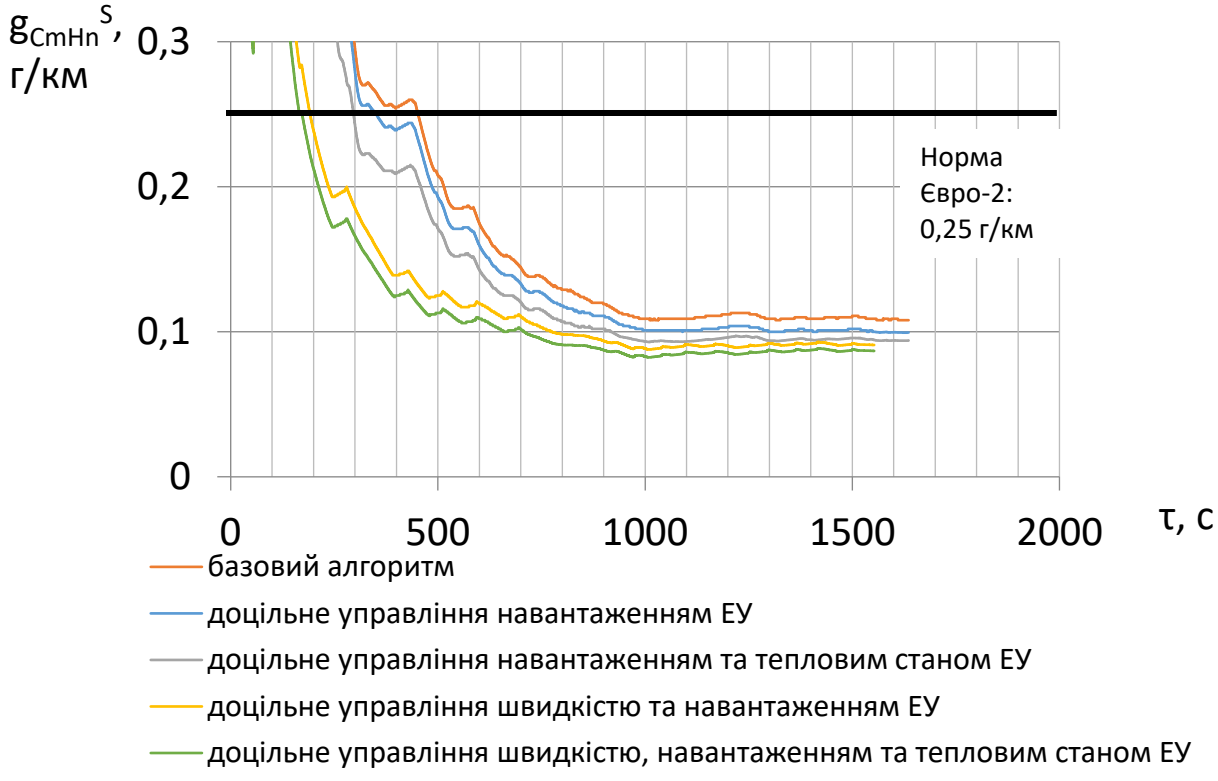


Рисунок 6.36 – Вплив алгоритму управління на пробігові викиди C_mH_n під час руху КТЗ на дослідному маршруті

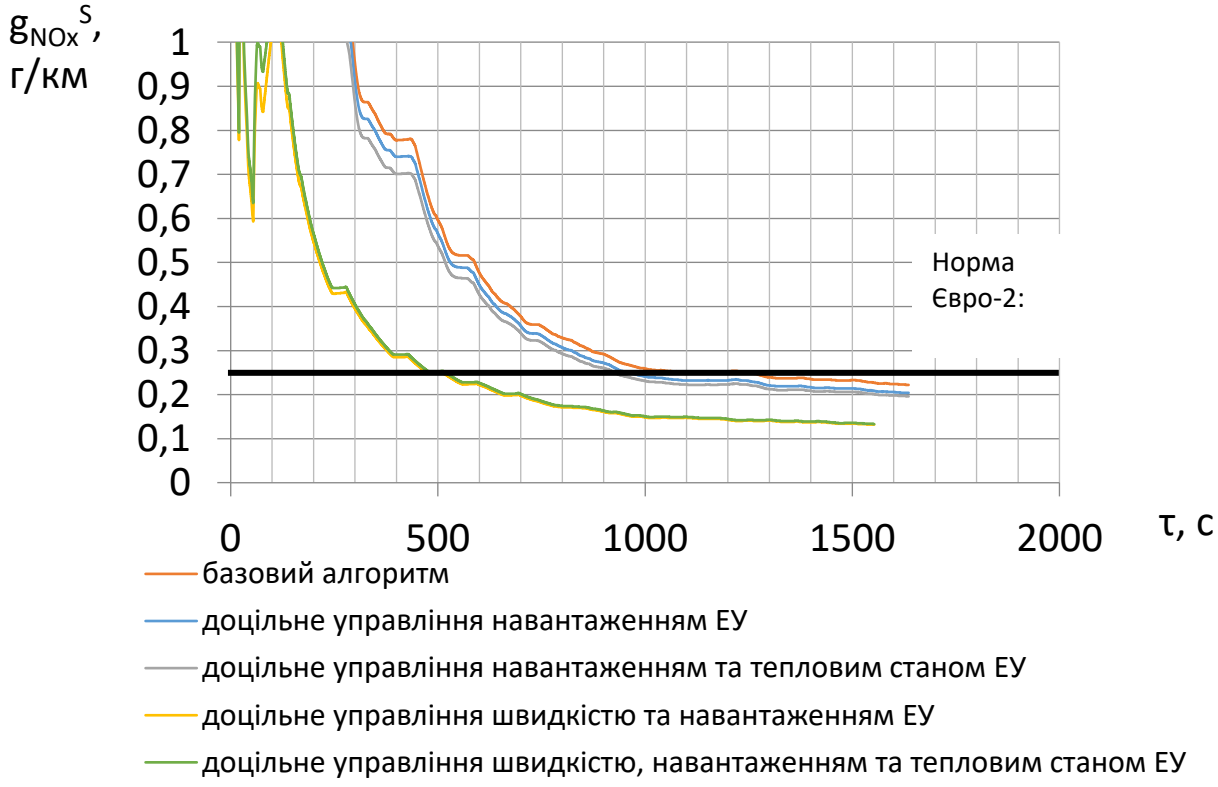


Рисунок 6.37 – Вплив алгоритму управління на пробігові викиди NO_x під час руху КТЗ на дослідному маршруті

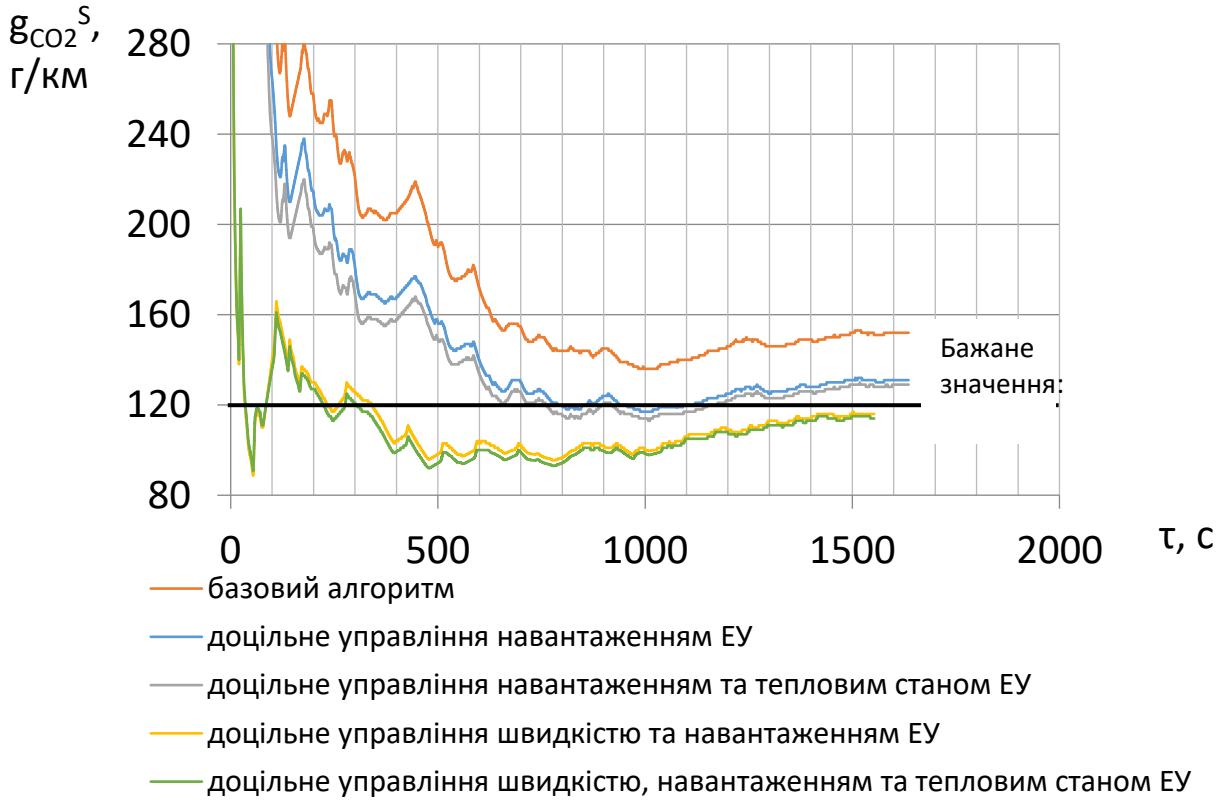


Рисунок 6.38 – Вплив алгоритму управління на пробігові викиди CO_2 під час руху КТЗ на дослідному маршруті

Досягнення бажаного значення викидів CO_2 при оптимізації управління навантажувальним режимом ЕУ спостерігається на 1000 с та 10 км пробігу (рис. 6.38).

Оптимізація теплового стану ЕУ дозволяє досягти бажаного значення викидів CO_2 у діапазоні з 650 по 1100 с та з 5,3 по 11 км. При цьому, оптимізація швидкісного, навантажувального та теплового режимів ЕУ дозволяє досягти бажаних пробігових викидів CO_2 практично на всьому маршруті, починаючи з 300 с.

В цілому, оптимізація управління навантаженням ЕУ дозволяє поліпшити економічність на 13,8% (рис. 6.39), викиди CO_2 знизити на 13,7% (рис. 6.40), викиди CO – на 8,3% (рис. 6.41), викиди CmHn – на 8,2 % (рис. 6.42), викиди NOx – на 8,3 % (рис. 6.43). Оптимізація управління навантаженням та тепловим станом ЕУ забезпечує поліпшення економічності на 15,4 %, викиди CO_2 знизити на 15,3%, викиди CO – на 23,4%, викиди CmHn – на 13,2 %, викиди NOx – на 11,6 %. Оптимізація управління швидкістю та навантаженням ЕУ забезпечує поліпшення економічності на 23,7 %, викиди CO_2 знизити на 23,8%, викиди CO – на 11,2%, викиди CmHn – на 15,7 %, викиди NOx – на 40,7 %.

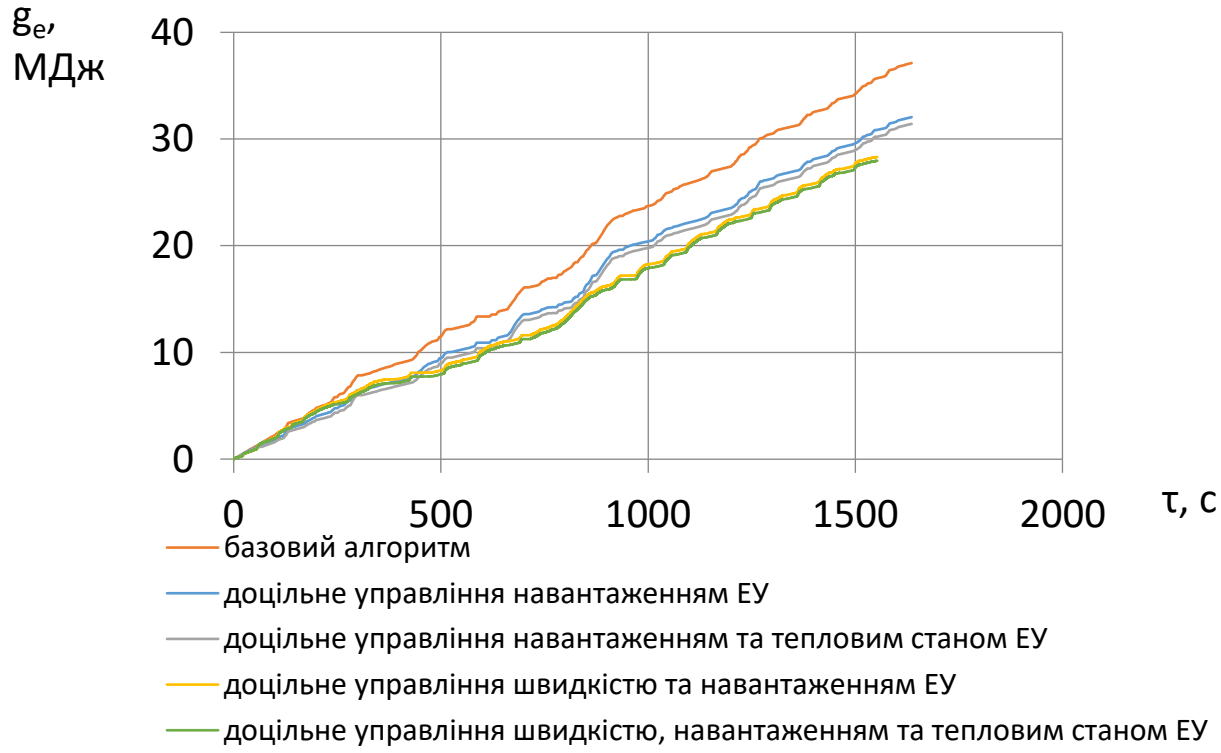


Рисунок 6.39 – Вплив алгоритму управління КТЗ на витрату енергії

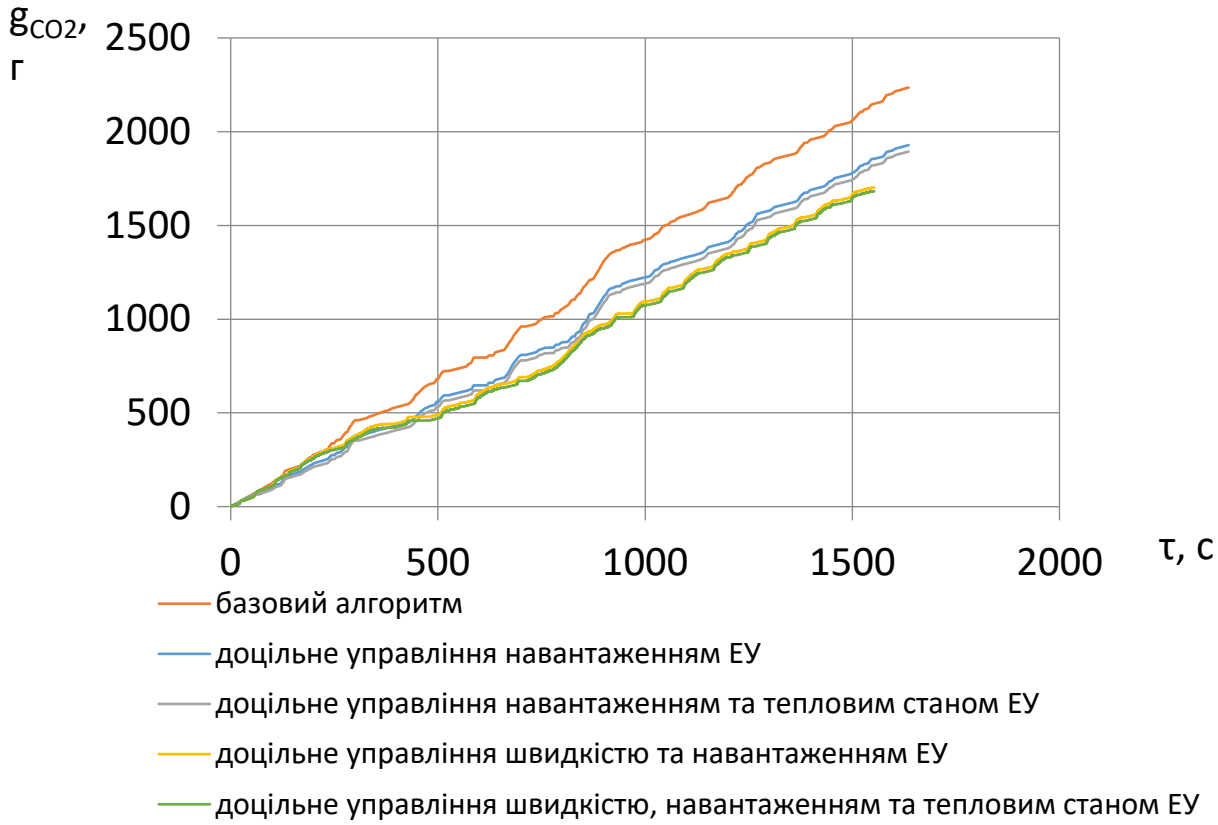


Рисунок 6.40 – Вплив алгоритму управління КТЗ на викиди CO2

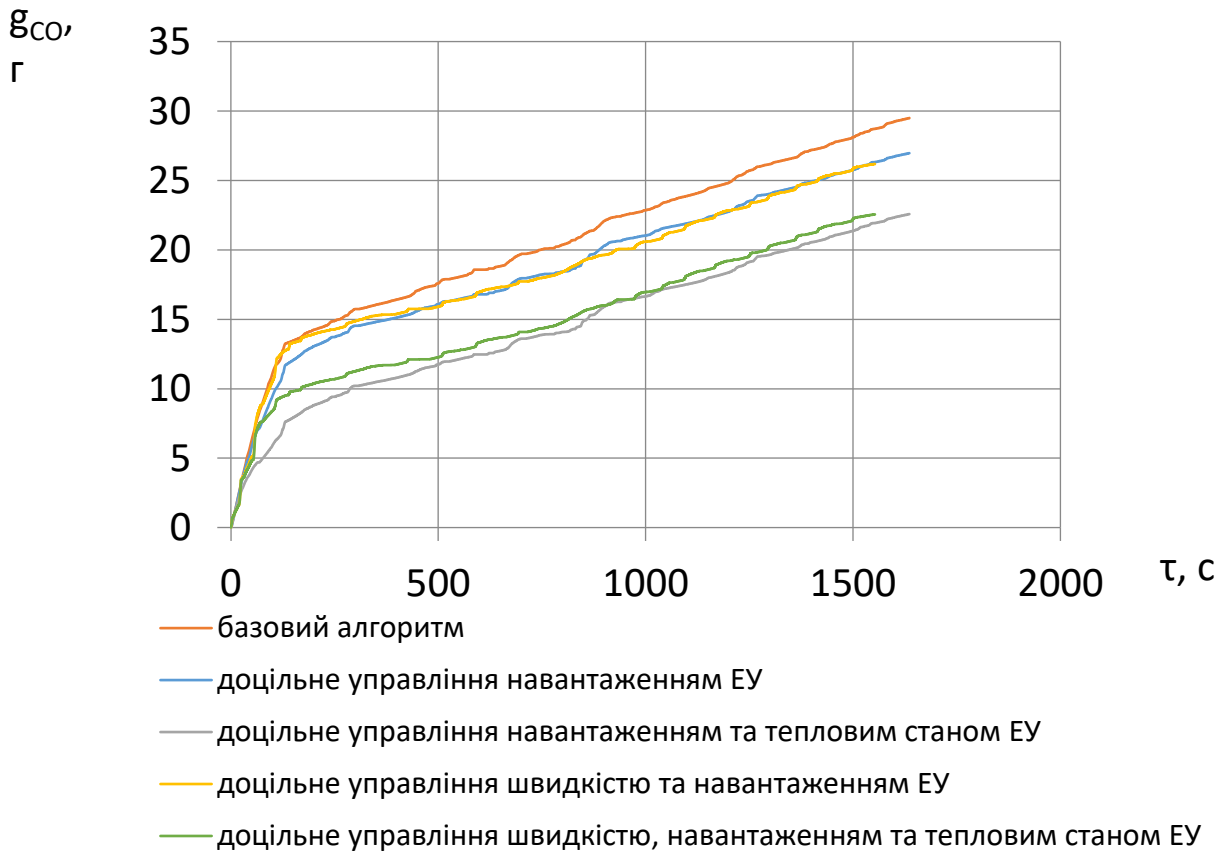


Рисунок 6.41 – Вплив алгоритму управління КТЗ на викиди CO

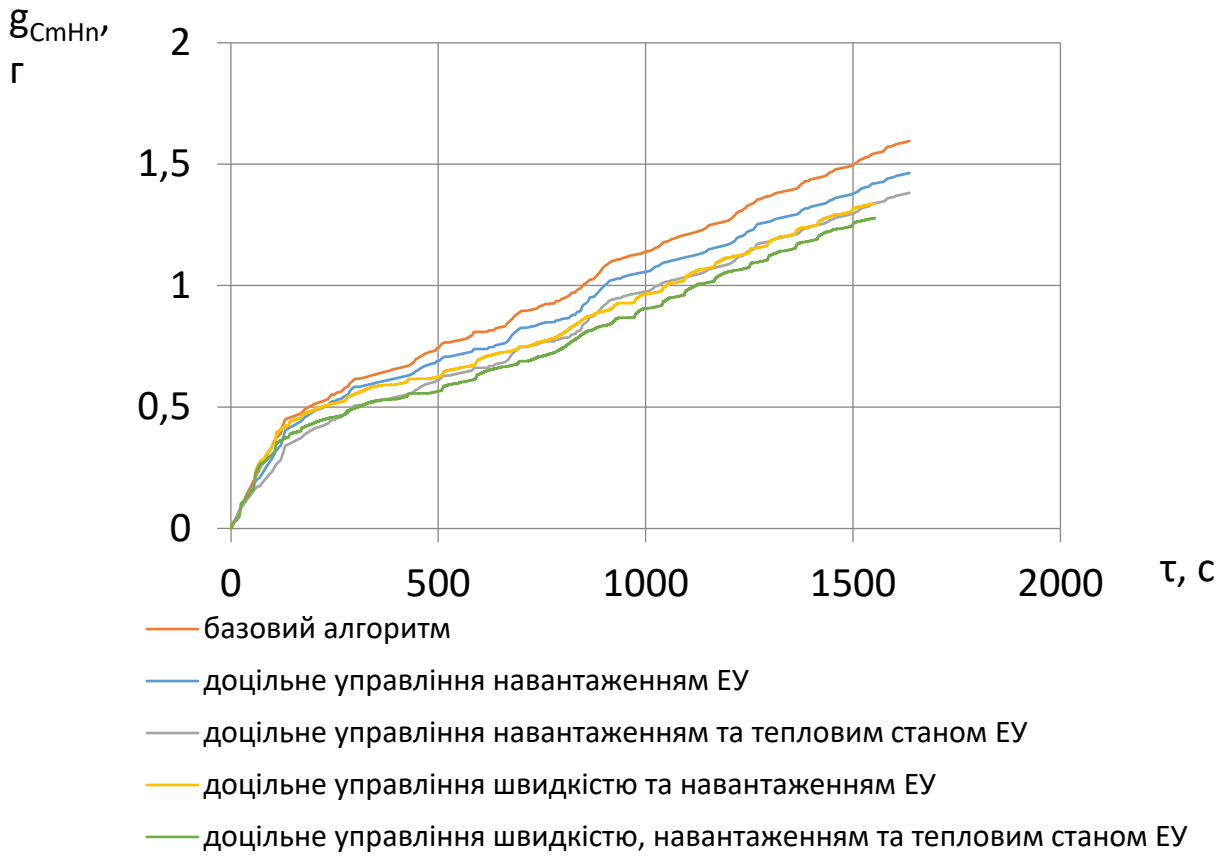


Рисунок 6.42 – Вплив алгоритму управління КТЗ на викиди CmHn

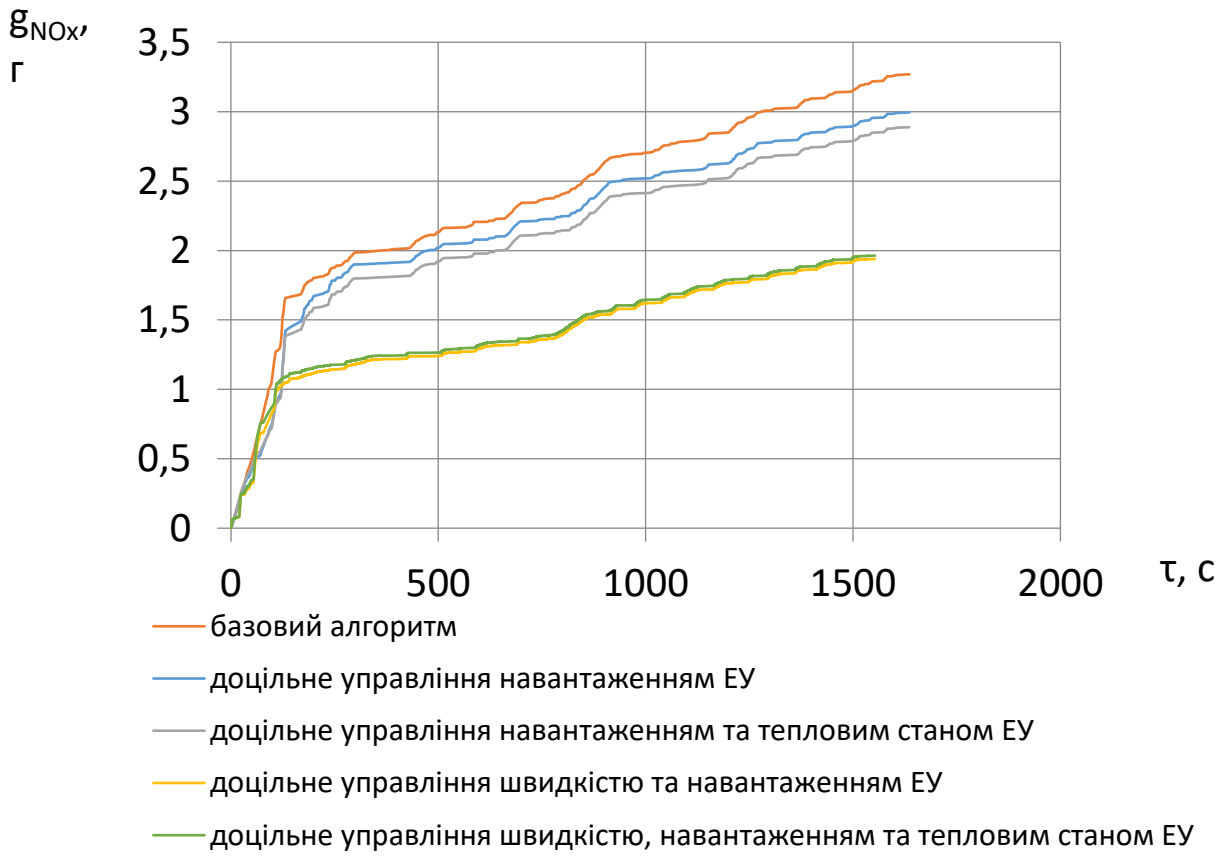


Рисунок 6.43 – Вплив алгоритму управління КТЗ на викиди NOx

Оптимізація управління швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ забезпечує поліпшення економічності на 24,7 %, викиди CO_2 знизити на 24,7%, викиди CO – на 23,4%, викиди CmHn – на 19,5 %, викиди NOx – на 40,1 %. Неоднозначний вплив оптимізації теплового стану на викиди NOx в останньому випадку пов'язаний з особливостями впливу температурного стану охолоджуючої рідини на управління складом паливоповітряної суміші.

Таким чином, вплив варіантів управління КТЗ на його економічні та екологічні показники неоднозначний. З метою встановлення доцільності чи недоцільності використання того чи іншого варіанту управління експлуатаційною ефективністю КТЗ необхідне оцінювання за інтегральним критерієм.

6.5 Оцінка алгоритмів управління експлуатаційною ефективністю КТЗ

Оцінювання алгоритмів управління експлуатаційною ефективністю КТЗ здійснюється за розробленими окремими та інтегральним критеріями (розділ 2). На рис. 6.44-6.49 представлено результати оцінювання за окремими динамічним, економічним та екологічними критеріями. В якості бажаних значень показників відповідних критеріїв були прийняті значення: бажана швидкість КТЗ – 50 км/год (в місті); бажана витрата енергії КТЗ – 1,68 МДж/км (5 л/100 км в перерахунку на нижчу теплоту згоряння бензину для КТЗ категорії М1); викиди шкідливих речовин за нормами Євро-5: CO – 1 г/км, CmHn – 0,1 г/км, NOx – 0,06 г/км; бажані викиди CO_2 – 120 г/км. Критерії відносно витрати енергії та викидів ШР, розраховано за усередненими на поточний момент часу значеннями швидкості КТЗ.

Значення динамічного критерію (рис. 6.44) для перших трьох варіантів управління КТЗ має однакове значення, оскільки досліджується фактичний закон руху КТЗ на маршруті. Поточна усереднена безрозмірна швидкість КТЗ досягає близько 0,7 від бажаної швидкості. Оптимізація швидкісного режиму підвищує значення динамічного критерію до 0,4 в безрозмінних одиницях в кінцевій частині маршруту.

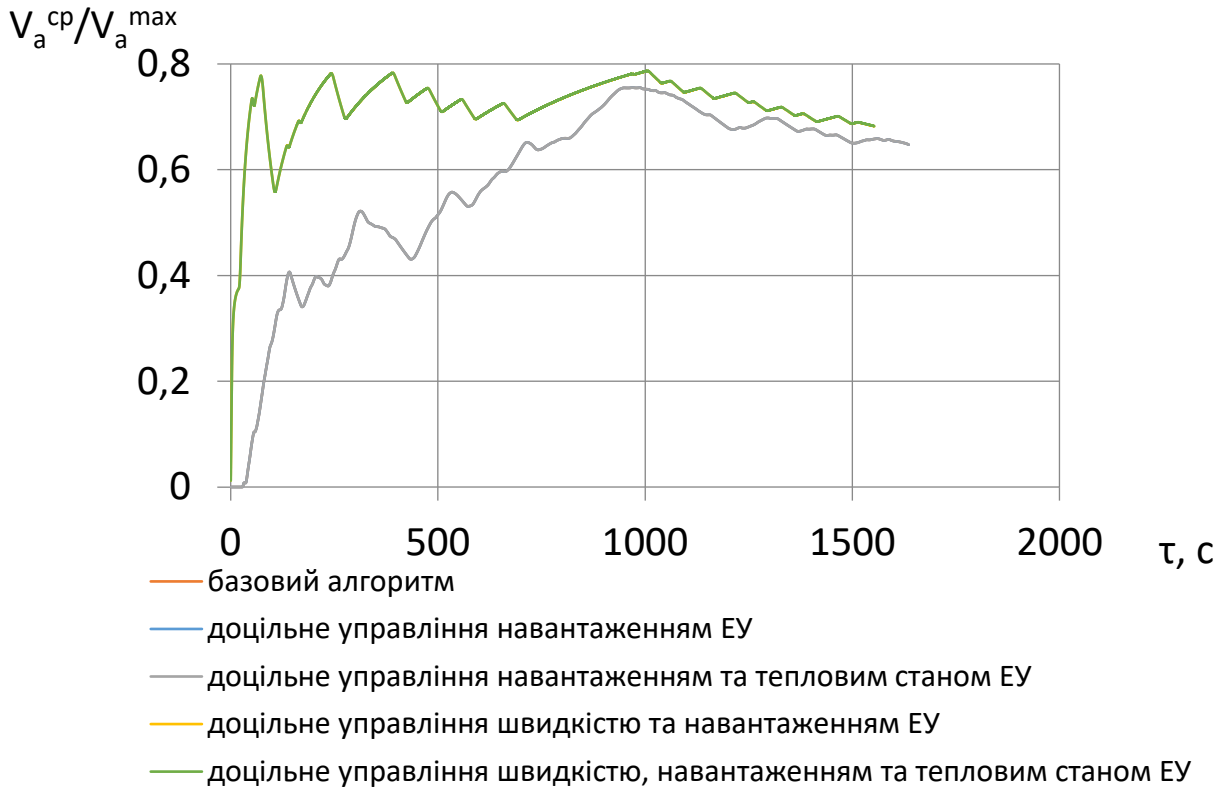


Рисунок 6.44 – Оцінювання алгоритмів управління КТЗ за динамічним критерієм

Значення економічного критерію (рис. 6.45) для варіантів оптимального управління навантажувальним режимом енергоустановки та тепловим режимом енергоустановки поліпшується порівняно із базовим управлінням. Оптимізація теплового стану поліпшує значення критерію найбільшою мірою у першій половині маршруту. Досягнутий рівень економічного критерію для базового варіанту управління складає 0,7, а для доцільних варіантів управління навантаженням та тепловим станом – 0,78. Оптимізація управління швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ дозволяє досягти значень економічного критерію на рівні близько 0,9.

Значення часткових екологічних критеріїв за окремими шкідливими речовинами представлено на рис. 6.46 – 6.49. Оптимізація управління швидкістю та навантаженням ЕУ підвищує окремий екологічний критерій СО (рис. 6.46) з 0,5 до 0,55-0,56. Оптимізація управління швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 0,65.

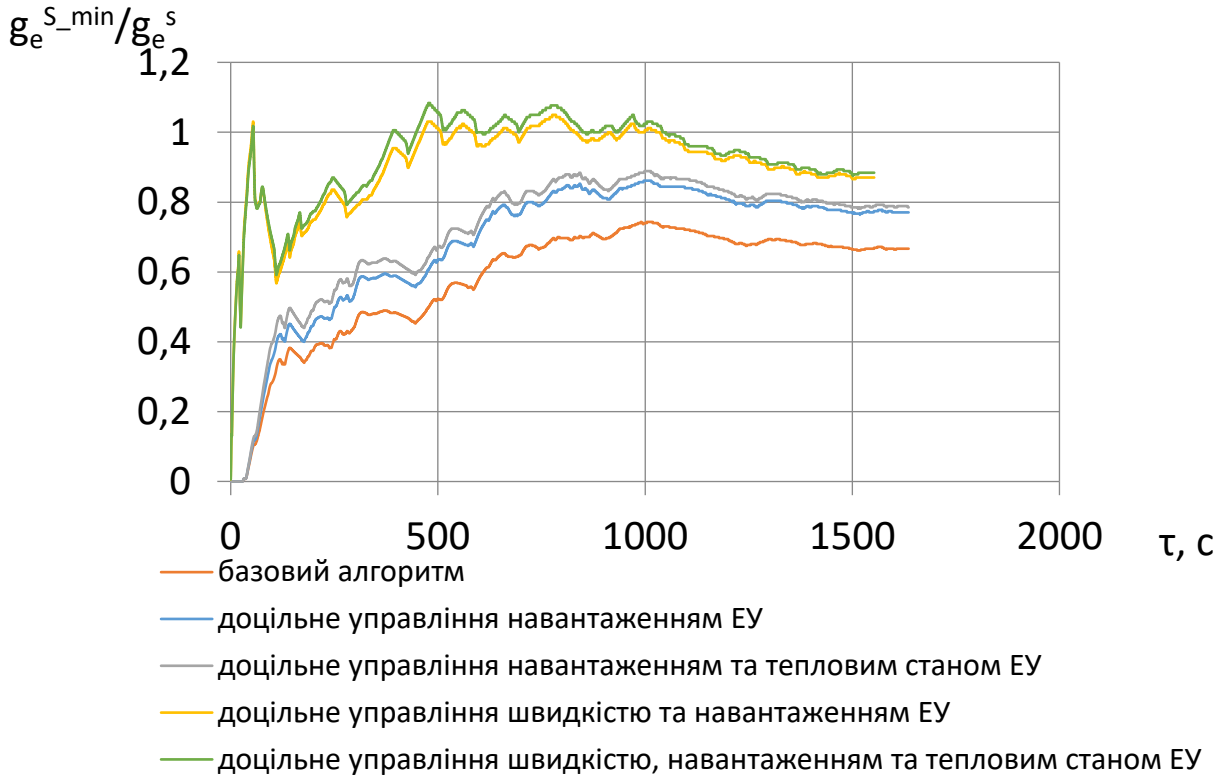


Рисунок 6.45 – Оцінювання алгоритмів управління КТЗ за економічним критерієм

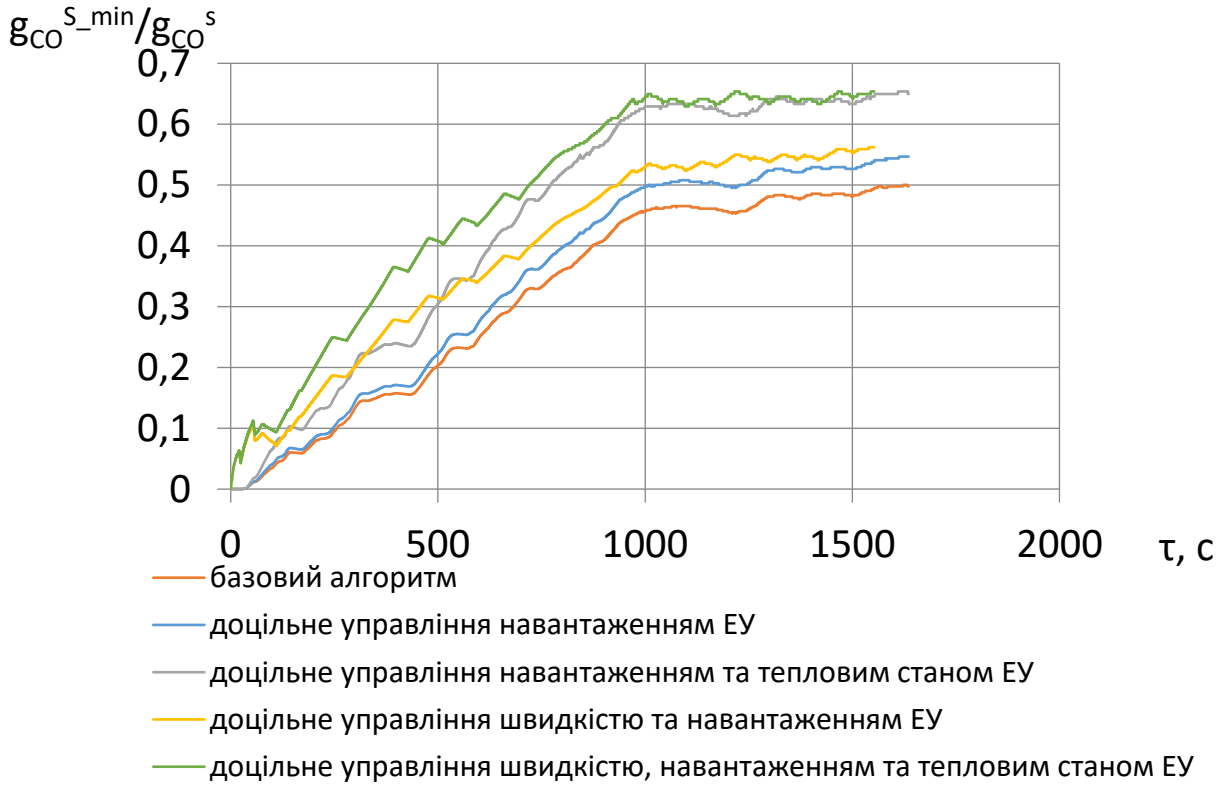


Рисунок 6.46 – Оцінювання алгоритмів управління КТЗ за частковим екологічним критерієм CO

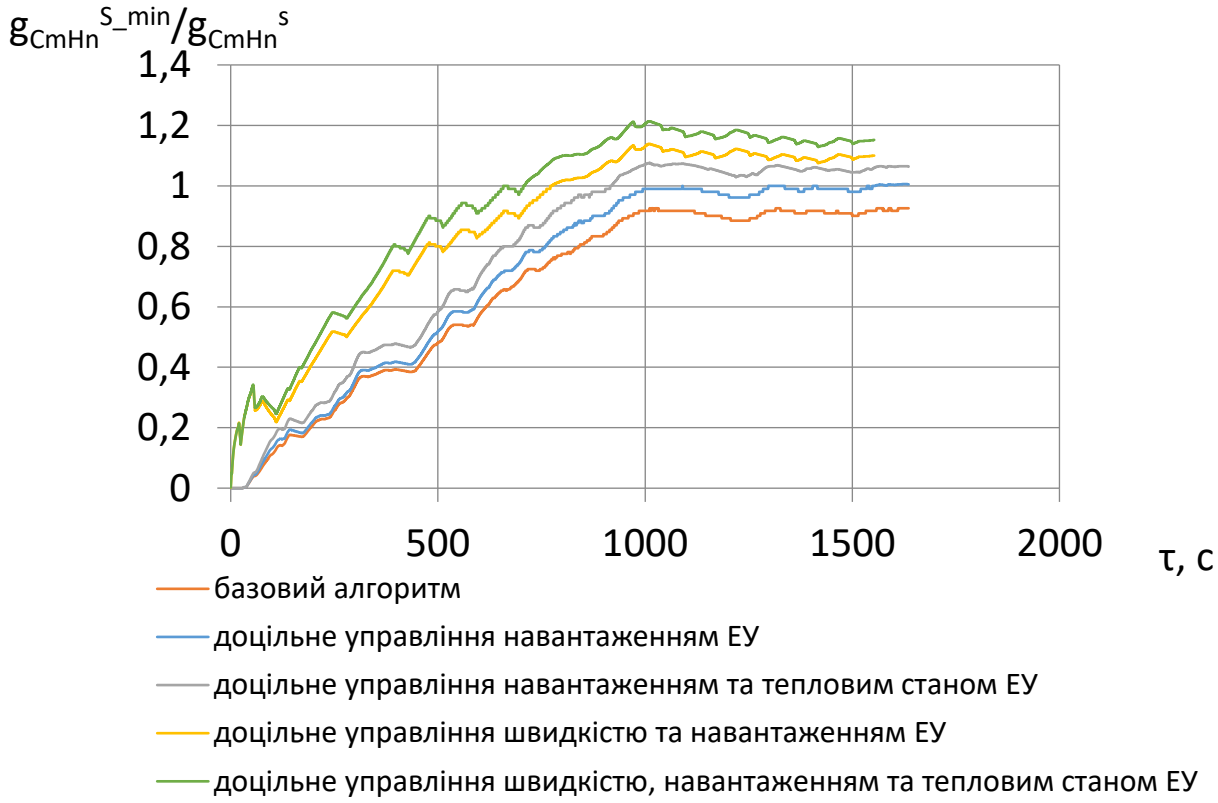


Рисунок 6.47 – Оцінювання алгоритмів управління КТЗ за частковим екологічним критерієм CmHn

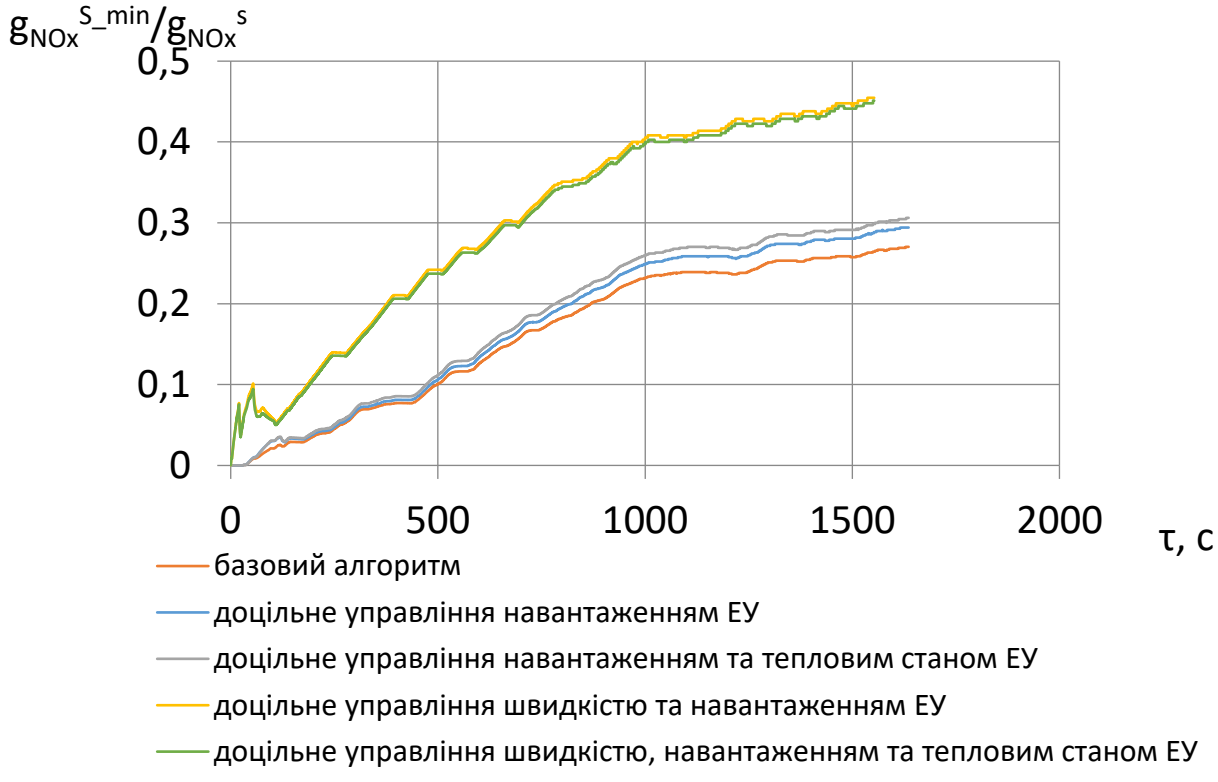


Рисунок 6.48 – Оцінювання алгоритмів управління КТЗ за частковим екологічним критерієм NOx

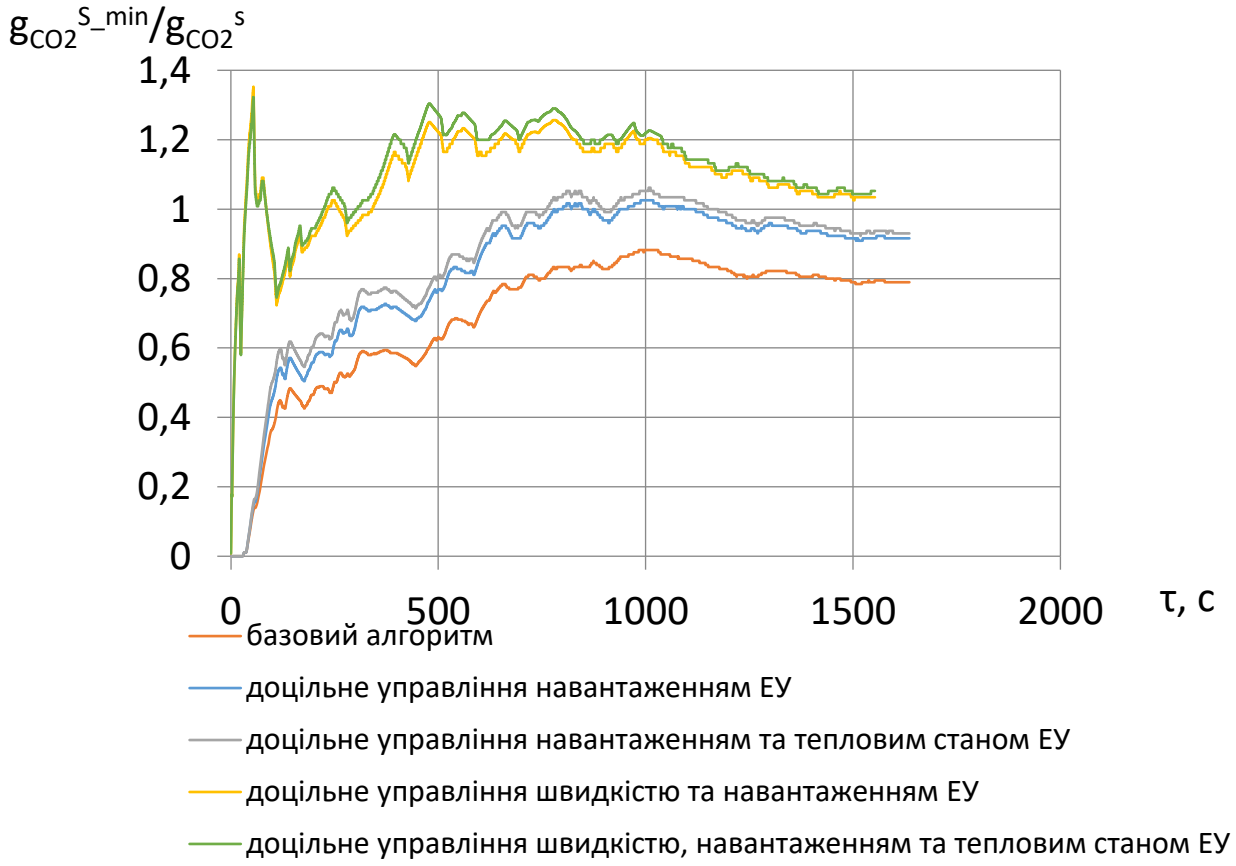


Рисунок 6.49 – Оцінювання алгоритмів управління КТЗ за частковим екологічним критерієм CO2

Оптимізація управління навантаженням ЕУ підвищує окремий екологічний критерій CmHn (рис. 6.47) з 0,93 до 1,01, навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 1,06, швидкістю та навантаженням ЕУ – до 1,1, швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 1,15.

Оптимізація управління навантаженням ЕУ підвищує окремий екологічний критерій NOx (рис. 6.48) з 0,27 до 0,29, навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 0,31, швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 0,45.

Оптимізація управління навантаженням ЕУ підвищує окремий екологічний критерій CO_2 (рис. 6.49) з 0,79 до 0,92, навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 0,93, швидкістю та навантаженням ЕУ – до 1,03, швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ – до 1,05.

Для комплексного оцінювання впливу різних алгоритмів управління КТЗ на його ефективність використовується інтегральний критерій. Для застосування

інтегрального критерію для умов руху КТЗ по місту використовуються наступні межі значень коефіцієнтів вагомості окремих критеріїв: вагомість динамічного критерію 0,35–0,45; вагомість економічного критерію 0,25–0,35; вагомість екологічного критерію 0,2–0,4. Вагомість часткових екологічних критеріїв в межах сумарного екологічного критерію складатиме: CO - 0,05–0,15, C_mH_n - 0,05–0,15, NO_x - 0,05–0,15, CO_2 - 0,55–0,85.

Дослідження впливу алгоритму управління КТЗ на інтегральний критерій ефективності КТЗ приведено на рис. 6.50. 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 %).

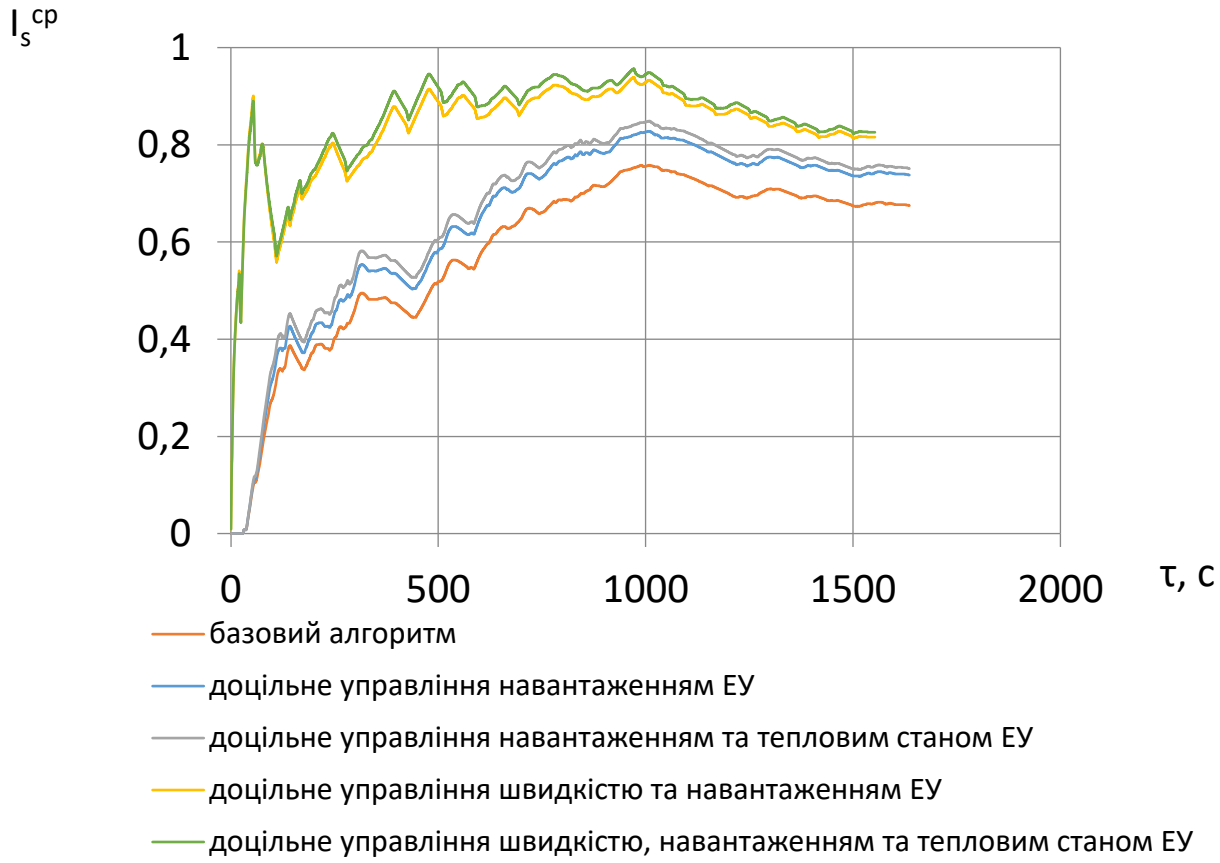


Рисунок 6.50 – Оцінювання алгоритмів управління КТЗ за інтегральним критерієм

6.6 Визначення доцільного маршруту руху КТЗ у визначених інфраструрних умовах

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 інфраструрних умовах. З цією метою, інформаційна географічна підсистема спочатку визначає можливі маршрути руху у визначений пункт призначення згідно із завданням оператора. Наприклад, у випадку визначення доцільного маршруту між пунктами відправлення і призначення, дослідженому у даному розділі (рис. 6.17), інформаційна система оцінює доцільність інших можливих маршрутів (рис. 6.51).

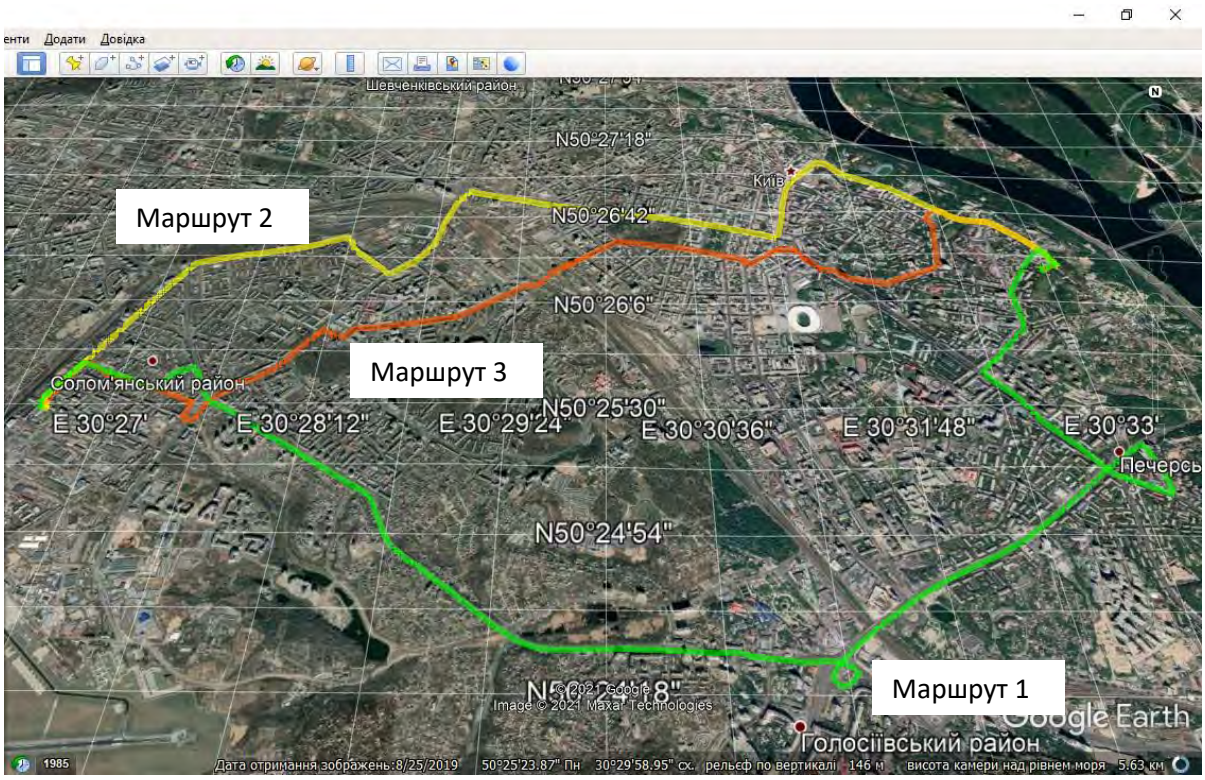


Рисунок 6.51 – Можливі маршрути руху КТЗ між визначеними пунктами відправлення і призначення

Визначення доцільного маршруту за інтегральним критерієм здійснюється за такою процедурою:

- для визначених маршрутів здійснюється аналіз висотного профілю

дорожньої поверхні та визначається кут повздовжнього нахилу дороги у функції шляху;

- на основі аналізу даних щодо об’єктів інфраструктури на маршруті (координати розташування світлофорів, перехресть зі зміною напрямку руху, пішохідних переходів) система формує масив даних щодо відстаней розташування точок визначених об’єктів інфраструктури від початкової точки маршруту та значень швидкості у цих точках (на світлофорах швидкість дорівнює 0, на перехрестях зі зміною напрямку руху та пішохідних переходах – 20 км/год);

- здійснюється моделювання законів руху КТЗ з урахуванням встановлених обмежень відстані і швидкості, визначених на попередньому етапі (максимальна швидкість визначається за встановленими Правилами дорожнього руху значеннями; в умовах оцінюваних маршрутів – 50 км/год). Моделювання закону руху КТЗ здійснюється в діапазоні зміни двох параметрів: прискорення під час розгону КТЗ та частоти обертання колінчастого валу двигуна при переході на вищу передачу. При цьому враховується достатність часу для розгону між встановленими об’єктами інфраструктури (де швидкість обмежується 0-20 км/год) до швидкості 50 км/год. У разі недостатності часу відбувається рух із швидкістю 20 км/год;

- для кожного закону руху КТЗ, при визначеному поєднанні параметрів прискорення КТЗ та частоти переключення передачі, та кожного маршруту визначаються значення всього комплексу розроблених критеріїв та інтегральний критерій. За отриманими значеннями інтегрального критерію на кожному маршруті визначається таке поєднання параметрів прискорення КТЗ та частоти переключення передачі (яке визначає доцільний закон руху КТЗ), при якому досягається максимальне для даного маршруту значення інтегрального критерію. Отримані значення інтегральних критеріїв для різних маршрутів порівнюються та встановлюється доцільний маршрут.

Як приклад, на рис. 6.52 представлено залежності інтегрального критерію для оцінюваних маршрутів від параметрів прискорення КТЗ та частоти переключення передачі.

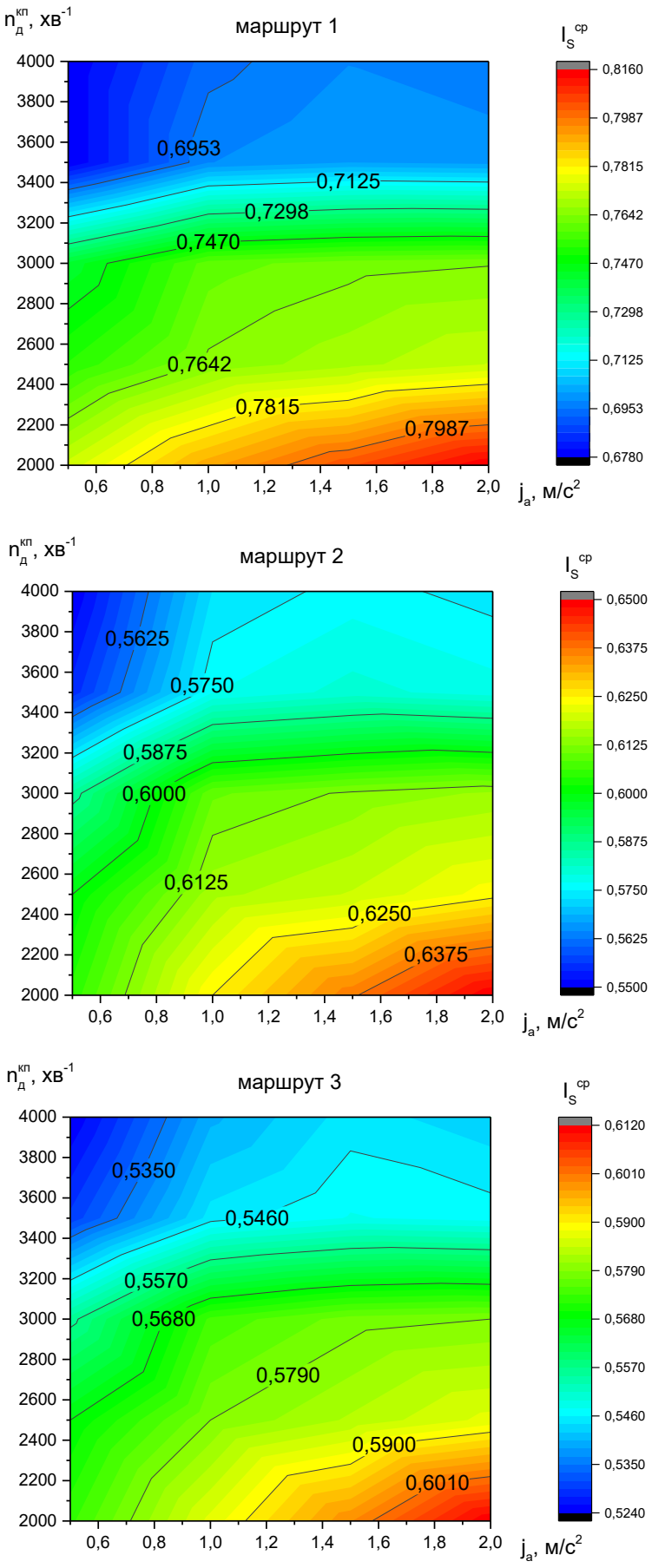


Рисунок 6.52 – Залежності інтегрального критерію від параметрів управління КТЗ на різних маршрутах

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 м/с^2 та частоти переключення передачі 2000 хв$^{-1}$. Дані параметри управління КТЗ досягаються через управління енергоустановою та трансмісією з використанням алгоритму, розробленому у розділі 2 (рис. 2.8).

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

Висновки до розділу 6

1. Встановлено оптимальні швидкісні режими роботи циркуляційного насосу теплового акумулятора системи теплової підготовки відповідно до швидкісних та навантажувальних режимів роботи двигуна. В цілому, ефект значного поліпшення всіх екологічних та паливно-економічних показників може бути досягнуто лише при мінімальних частотах обертання холостого ходу. По мірі збільшення частоти обертання колінчастого валу та навантаження двигуна доцільність використання системи теплової підготовки значно знижується.

2. Розроблено комп’ютерні програми для визначення окремих динамічних показників під час руху КТЗ. З використаннм розробленого програмного забезпечення визначено поточні дані щодо моменту опору руху КТЗ, приведеного до валу двигуна у визначених інфраструктурних умовах. На основі отриманих даних, з використанням залежностей математичної моделі, з’являється можливість вибору поточних значень дійсного крутного моменту двигуна, що забезпечують заданий закон руху КТЗ у поточних дорожніх умовах та дозволяють поліпшити економічні та екологічні показники КТЗ.

3. Виконано оцінювання витрати палива та викидів шкідливих речовин на дослідному маршруті руху КТЗ. Аналіз отриманих даних показав, що при базовому

управлінні КТЗ на міському маршруті мінімальні значення витрати палива та викидів шкідливих речовин досягаються після пробігу близько 10 км або 1000 с руху. При цьому, нормативні для дослідженого КТЗ значення викидів шкідливих речовин досягаються для різних речовин у різні проміжки часу або пройденого шляху.

4. Використання алгоритмів оптимального управління КТЗ дозволяє значно поліпшити базові економічні та екологічні показники руху. Так, оптимізація управління навантажувальним режимом енергоустановки дозволить скоротити час і пробіг досягнення нормованого значення викидів оксидів азоту на 39,4 та 33 % відповідно. Оптимізація теплового стану енергоустановки дозволяє зменшити час і пробіг досягнення нормованих значень викидів оксиду вуглецю та вуглеводнів на 25-21 % та 30-16,7 % відповідно. Також, у цьому випадку, досягається бажане значення викидів вуглекислого газу. Управління швидкісним режимом КТЗ також поліпшує вказані показники. Зокрема, за викидами CO_2 оптимізація швидкісного навантажувального та теплового режимів ЕУ дозволяє досягти їх практично на всьому маршруті, починаючи з 300 с.

5. Встановлено, що вплив різних варіантів управління КТЗ на його економічні та екологічні показники неоднозначний. Найбільшого ефекту поліпшення показників ефективності експлуатації КТЗ можливо досягти оптимізацією управління швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ забезпечує поліпшення економічності на 24,7 %, викиди CO_2 знизити на 24,7%, викиди CO – на 23,4%, викиди CmHn – на 19,5 %, викиди NOx – на 40,1 %.

6. Для комплексного оцінювання впливу різних алгоритмів управління КТЗ на його ефективність проведено дослідження за інтегральним критерієм ефективності КТЗ. Встановлено, що оптимізація управління навантаженням ЕУ, що збільшує інтегральний критерій ефективності на 14,9 %, навантаженням та тепловим станом ЕУ – на 17,9%, швидкістю та навантаженням ЕУ – на 30 %, швидкістю, навантаженням та тепловим станом ЕУ – на 31,3 %.

7. Дослідження доцільності руху КТЗ за різними маршрутами між визначеними початковою та кінцевою точками за різних варіантів управління КТЗ показало, що доцільні параметри управління КТЗ категорії М1 практично на всіх маршрутах близькі до значень прискорення 2,0 м/с^2 та частоти переключення передачі 2000 хв$^{-1}$. В залежності від інфраструктурних умов руху КТЗ розроблена інформаційна система управління експлуатаційною ефективністю дозволяє встановити доцільний закон 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 удосконаленим 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 сформувати 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.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України : сайт. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/.

2. Transportation sector energy consumption. U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2016. Chapter 8. pp. 127-137. URL: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/transportation.pdf.

3. 2020 road safety statistics: what is behind the figures? : сайт. URL: https://ec.europa.eu/transport/modes/road/news/2021-04-20-road-safety-statistics-2020_en.

4. Статистика ДТП в Україні : сайт. URL: http://patrol.police.gov.ua/statystyka/.

5. World Development Indicators : сайт. URL: https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/.

6. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р (із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМ № 321-р від 07.04.2021). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text.

7. A European Green Deal : сайт. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.

8. Clean and energy efficient vehicles : сайт. URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/clean-and-energy-efficient-vehicles_en.

9. Про затвердження Правил експлуатації колісних транспортних засобів : Наказ Міністерства інфраструктури України від 26.07.2013 № 550. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1453-13#Text.

10. WP.29 – Introduction : сайт. URL: https://unece.org/wp29-introduction.

11. Угода про прийняття єдиних технічних приписів для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та/або використані на колісних транспортних засобах, і про умови взаємного визнання офіційних затверджень, виданих на основі цих приписів : сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_343#Text.

12. Угода про введення глобальних технічних регламентів для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та/або використані на колісних транспортних засобах : сайт. URL: https://unece.org/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob/globaut.pdf.

13. Угода про прийняття єдиних умов періодичних технічних оглядів колісних транспортних засобів і про взаємне визнання таких оглядів : сайт. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_e51#Text.

14. Directive 2014/45/EU of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 on periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers and repealing Directive 2009/40/EC : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0045.

15. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport : сайт. URL:https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:207:0001:0013:EN:PDF.

16. Regulation No 114 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE). Uniform provisions concerning the approval of: I. An Airbag Module for a Replacement Airbag System; II. A Replacement Steering Wheel equipped with an Airbag Module of an Approved Type; III. A Replacement Airbag System other than that installed in a Steering Wheel : сайт. URL: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1970a18a-757f-41c8-8e2b-f88f291ecbf1/language-en.

17. Regulation No 123 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of adaptive front-lighting systems (AFS) for motor vehicles : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42010X0824%2801%29.

18. UN Regulation No 127 – Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to their pedestrian safety performance [2020/638] : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/638/oj.

19. Regulation No 130 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Lane Departure Warning System (LDWS) : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42014X0618%2801%29.

20. Regulation No 131 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Advanced Emergency Braking Systems (AEBS) : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42014X0719%2801%29.

21. Regulation No 132 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE) — Uniform provisions concerning the approval of Retrofit Emission Control devices (REC) for heavy duty vehicles, agricultural and forestry tractors and non-road mobile machinery equipped with compression ignition engines [2018/630] : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.109.01.0100.01.ENG.

22. Regulation No 139 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to Brake Assist Systems (BAS) [2018/1591] : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42018X1591&from=EN.

23. Regulation No 140 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to Electronic Stability Control (ESC) Systems [2018/1592] : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42018X1592&from=EN.

24. Regulation No 141 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to their Tyre Pressure Monitoring Systems (TPMS) [2018/1593] : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42018X1593&from=EN.

25. United Nations Regulation No. 144. Uniform provisions concerning: Ia. Accident Emergency Call Components (AECC); Ib. Accident Emergency Call Devices(AECD) which are intended to be fitted to vehicles of categories M_1 and N_1; II. Vehicles with regard to their Accident Emergency Call Systems (AECS) when equipped with an AECD of an approved type; III. Vehicles with regard to their Accident Emergency Call Systems (AECS) when equipped with an AECD of non approved type : сайт. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2018/R144e.pdf.

26. UN Regulation No. 151 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Blind Spot Information System for the Detection of Bicycles : сайт. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2020/R151e.pdf.

27. UN Regulation No 152 – Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Advanced Emergency Braking System (AEBS) for M1 and N1 vehicles [2020/1597] : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1597/oj.

28. Regulation (EC) No 78/2009 of the European Parliament and of the Council of 14 January 2009 on the type-approval of motor vehicles with regard to the protection of pedestrians and other vulnerable road users, amending Directive 2007/46/EC and repealing Directives 2003/102/EC and 2005/66/EC : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0078&from=BG.

29. Commission Regulation (EU) No 347/2012 of 16 April 2012 implementing Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council with respect to type-approval requirements for certain categories of motor vehicles with regard to advanced emergency braking systems : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0347&from=BG.

30. Commission Regulation (EU) No 351/2012 of 23 April 2012 implementing Regulation (EC) No 661/2009 of the European Parliament and of the Council as regards type-approval requirements for the installation of lane departure warning systems in motor vehicles : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0351&from=BG.

31. Regulation (EU) 2015/758 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 concerning type-approval requirements for the deployment of the eCall in-vehicle system based on the 112 service and amending Directive 2007/46/EC : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0758&from=BG.

32. Regulation (EU) No 165/2014 of the European Parliament and of the Council of 4 February 2014 on tachographs in road transport, repealing Council Regulation (EEC) No 3821/85 on recording equipment in road transport and amending Regulation (EC) No 561/2006 of the European Parliament and of the Council on the harmonisation of certain social legislation relating to road transport : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0165&from=bg.

33. Волков В.П., Матейчик В.П., Никонов О.Я., Комов П.Б., Грицук И.В., Волков Ю.В., Комов Е.А. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем./ Под редакцией Волкова В.П. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2013. – 400 с.

34. Интеллектуальные транспортные системы в технической эксплуатации автомобилей / Волков В.П., Панченко В.П., Грицук И.В., Волкова Т.В., Курцев М.С., Мамедов Э.А. - Баку, «Апостроф-А», 2019. – 476 с.

35. Методы и средства дистанционного контроля технического состояния автомобилей / Волков В.П., Грицук И.В., Грицук Ю.В., Волкова Т.В., Волков Ю.В., Володарец Н.В., Сергиенко Н.Е., Агапов О.Н., Павлова Н.Н. - Харьков: ФОП Панов А.М., 2019. – 320с.

36. Аналитический доклад. Евразийская экономическая комиссия. «О существующих в государствах-членах Евразийского экономического союза интеллектуальных транспортных системах, используемыхв сфере автомобильного транспорта и дорожного хозяйства». – М., 2019. – 49 с.

37. Приходько В.М. Формирование функциональных возможностей интеллектуальной транспортной системы для автомобильного транспорта / В.М. Приходько, С.М. Мороз, А.Н. Ременцов // Журнал Автомобильных инженеров. – 2011. – №4 (69). – С. 23–27.

38. Власов В.М. Транспортная телематика в дорожной отрасли: учебн. пособие / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. – М.: МАДИ, 2013. – 80 с.

39. Ахмедов Т.Н. Основы системы контроля состояния транспортного средства в процессе выполнения перевозок / Т.Н. Ахмедов, С.В. Жанказиев, А.Е. Финкель // Научные аспекты развития транспортно-телематических систем – М.: МАДИ, 2010. – С. 138 – 164.

40. Власов В. М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В.М. Власов, А.Б. Николаев, А. В. Постолит, В.М. Приходько; под общ. ред. В.М. Приходько // МАДИ (Гос. техн. ун-т). – М.: Наука, 2006. - 283 с.

41. “Intelligent Vehicle Highway Systems”, Executive Summary of the Proceedings of a National Workshop on IVHS, Sponsored by Mobility 2000, Dallas, Texas., Texas Transportation Institute, March, 1990 : сайт. URL: https://ntlrepository.blob.core.windows.net/lib/16000/16700/16704/PB2000104538.pdf.

42. H.R.2950 - Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991 : сайт. URL: https://www.congress.gov/bill/102nd-congress/house-bill/2950.

43. Інтелектуальні транспортні системи. Стійкий розвиток транспортної системи: Збірник матеріалів для політиків міст. 46 с. : сайт. URL: https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/GIZ_SUTP_SB4e_Intelligent-Transport-Systems_UA.pdf.

44. Fan, Y., Khattak, A.J., and Shay, E. Intelligent Transportation Systems: What Do Publications and Patents Tell Us? Journal of Intelligent Transportation Systems, 2007, 11:2, pp. 91-103.

45. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport : сайт. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0040.

46. Худяков І.В. Особливості формування та аналізу інформаційних структур системи моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів у взаємодії з тахографом / Худяков І.В., Симоненко Р.В., Манжелей В.С., Черненко В.В. // Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і діагностики: монографія /

Blatnický Miroslav, Dižo Ján, Gerlici Juraj та ін.; за наук. ред. проф. Грицука Ігоря. – Херсон : ХДМА, 2019. – с. 250-259.

47. Супутникова навігація : сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D1%96%D0%B3%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.

48. Dedicated short-range communications : сайт. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dedicated_short-range_communications.

49. Алексеев В.В. Информационно-телекоммуникационная система мониторинга участка обращения локомотивов с применением ГИС-технологий для осуществления безопасного и энергоэффективного управления локомотивом (ИТС-ГИС) / В.В. Алексеев, П.Г. Королев, Н.И. Куракина, Н.В. [и др.] // Сборник материалов международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2012» (28-31 марта 2012.) -– СПб.: ПГПС, 2012. – С.118 – 124.

50. Інтелектуальні системи моніторингу транспорту [Текст] : [монографія] / В. П. Волков [та ін.] ; [під ред. Волкова В. П.] ; Харків. нац. автомоб.-дорож. ун-т. - Харків : НТМТ, 2015. - 244 с.

51. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого. М. : «За рулем», 2005. 432 с.

52. Сахно В.П. Аналіз способів оцінювання та покращення паливної економічності вантажних автомобілів./ В.П. Сахно, В.М.Поляков, К.С. Жаров // Вісник НТУ. – К.: НТУ – 2014. – Вип. 30. – С. 339-348.

53. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки [Текст] : навч. посіб для студентів ВНЗ / М. Ф. Дмитриченко [та ін.] ; Нац. трансп. ун-т. - Київ : НТУ, 2014. - 163 с.

54. Flah, Aymen, and Chokri Mahmoudi. "Design and analysis of a novel power management approach, applied on a connected vehicle as V2V, V2B/I, and V2N." *International Journal of Energy Research* 43.13 (2019): 6869-6889.

55. Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія. К.: НТУ, 2006. 216 с.

56. Gritsuk, I., Volkov, V., Mateichyk, V., Gutarevych, Y., Tsiuman M., Goridko N., "The Evaluation of Vehicle Fuel Consumption and Harmful Emission Using the Heating System in a Driving Cycle," SAE Int. J. Fuels Lubr. 10(1):236-248, 2017, doi:10.4271/2017-26-0364.

57. В.П. Матейчик, В.П. Волков, І.В. Грицук, М.П. Цюман. Дослідження паливної економічності та екологічних показників транспортного засобу з комбінованою системою прогріву. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 1 (37). С. 255-268.

58. М.П. Цюман, Шевчук І.О., Артеменко Р.В., Бориско С.Г. Дослідження паливної економічності та екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням під час використання спиртовмісного палива. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 1 (37). С. 424-433.

59. Gritsuk, I., Mateichyk, V., Tsiuman, M., Gutarevych, Y. et al., "Reducing Harmful Emissions of the Vehicular Engine by Rapid After-Start Heating of the Catalytic Converter Using Thermal Accumulator," SAE Technical Paper 2018-01-0784, 2018, https://doi.org/10.4271/2018-01-0784.

60. Tsiuman M. Evaluation of fuel consumption and harmful substances emissions by vehicle with spark ignition engine under operation conditions with using of fuel containing ethanol. Selected aspects of providing the chemmotological reliability of the engineering. National Aviation University. 2019. 299-314. DOI: 10.18372/38237.

61. Gritsuk, I., Pohorletskyi, D., Mateichyk, V., Symonenko, R. et al., "Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems)," SAE Technical Paper 2020-01-2031, 2020, https://doi.org/10.4271/2020-01-2031.

62. Кравченко О.П. Наукові основи управління ефективністю експлуатації автомобільних поїздів : дис…. докт. техн. наук: 05.22.20. Харків: ХНАДУ, 2007. 480 с.

63. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів : монографія [Електронний ресурс] / В. Д. Мигаль. – Харків : Майдан, 2018. – 262 с.

64. Лисий О. В. Підвищення ефективності експлуатації автомобільних поїздів шляхом управління їх технічним станом : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Харків, 2016. 20 с.

65. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту [Текст] : [монографія] / М. Ф. Дмитриченко [та ін.] ; [під ред М. Ф. Дмитриченка] ; Нац. трансп. ун-т. - Київ : НТУ, 2016. - 202 с.

66. Kakinami, Toshiaki, Mitsuyoshi Saiki, and Jun Sato. "Vehicle cruise control system." U.S. Patent No. 5,230,400. 27 Jul. 1993.

67. Hennessee, Robert P., Steven C. Huetteman, and Ron M. Markowitz. "Vehicle climate control system and operating method." U.S. Patent No. 5,547,125. 20 Aug. 1996.

68. Dey, Kakan Chandra, et al. "Vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication in a heterogeneous wireless network–Performance evaluation." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 68 (2016): 168-184.

69. Farah, Haneen, et al. "Evaluation of the effect of cooperative infrastructure-to-vehicle systems on driver behavior." *Transportation research part C: emerging technologies* 21.1 (2012): 42-56.

70. Грицук І., Матейчик В., Симоненко Р., Худяков І. Особливості дистанційної ідентифікації режимів роботи водія в інформаційній системі моніторингу транспортного засобу. Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Efektywnosc I bezpieczenstwo. Monografia nr.19. Seria: Transport. Rzeszow, 2019. C.7-15. ISBN 978-83-7934-319-5.

71. Вольська О.М., Храпкіна В.В., Грицук І.В., Матейчик В.П., Симоненко Р.В., Володарець М.В. Сучасні тенденції розвитку автотранспортної галузі України / О.М. Вольська, В.В. Храпкіна, І.В. Грицук, В.П. Матейчик, Р.В. Симоненко, М.В. Володарець – Херсон, ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. – 144 с.

72. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. – Харків: ФОП Панов А.М., 2018. – 300 с.

73. Волков В.П., Мырхалыков Ж.У., Грицук И.В., Никонов О.Я., Сатаев М.И., Волков Ю.В., Саипов А.А. Интеллектуальные и телематические технологии на транспорте / Под ред. доктора технических наук. профессора Волкова В.П. – Шымкент: Изд-во ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2016. – 508 с.

74. Интеллектуальные системы управления работоспособностью автомобилей / В.П. Волков, В.П. Матейчик, И.В. Грицук, Ю.В. Волков / Под редакцией Волкова В.П. – Харьков: Майдан, 2016. – 504 с.

75. Грицук І.В., Волков В.П., Худяков І.В., Симоненко Р.В., Володарець М.В. Особливості формування системи дистанційного визначення працездатності та безпеки експлуатації транспортних засобів - Праці Таврійського державного агро-технологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. – Вип. 19, т. 4. – с. 298-309.

76. Волков В.П., Грицук И.В., Володарец Н.В., Волкова Т.В., Погорлецкий Д.С. Моделирование транспортных и дорожных условий эксплуатации транспортной техники - Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - Харків. - 2018. - №14. – С. 147-150.

77. V. Mateichyk, M. Saga, M. Smieszek, M. Tsiuman, N. Goridko, I. Gritsuk, R. Symonenko Information and analytical system to monitor operating processes and environmental performance of vehicle propulsion systems - MMS2019, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 776 (2020) 012064, 10 P., IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/776/1/012064.

78. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справочник: учеб. пособие / [под ред. В.Н.Волковой и А.А.Емельянова]. –М.: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.

79. Неруш Ю.М. Логистика: учебник для вузов / Неруш Ю.М. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 389 с.

80. Ризванов К.А. Информационная система поддержки процессов испытаний ГТД на основе организационно-функциональной модели: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.06. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)» / Ризванов Константин Анварович. – Уфа., 2008. – 16 с.

81. Дмитров В.И. Аналитический обзор международных стандартов STEP, P_LIB, MANDATE / Дмитров В.И., Макаренко Ю.М. // Информационные технологии. – 1996. – №1. – С. 6-11.

82. Р50Л-031-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции: терминологический словарь. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001– Ч. 1: Стадии жизненного цикла продукции – 2001. – 27 с.

83. Речкалов А.В. Построение системной модели организации / Речкалов А.В., Куликов Г.Г., Пучнин Н.Б. //Вестник УГАТУ. – 2005. – Т.6. – №2. – С.127-143.

84. Миротин Л.Б. Логистика интегрированных цепочек поставок: учебник / Л.Б. Миротин, А.Г. Некрасов. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 256 с.

85. Научные подходы к формированию государственной стратеги развития интеллектуальных транспортных систем // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 7(45). – С. 2–10.

86. Грицук І.В. Особливості структури інформаційного програмного комплексу моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану транспортного засобу в умовах ITS / І.В. Грицук // Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті: междунар.науч.-техн.конф., 15-16 жовтня 2015 р.: сб. материалов. – Харків: ХНАДУ, 2015. – С. 123–125.

87. Волков В.П. Особливості інформаційного обміну в процесі дистанційного управління роботоздатністю транспортних засобів / В.П. Волков, В.П. Матейчик, П.Б. Комов [та ін] // Вісник Національного транспортного університету. – 2014. – Вип. 29. – С. 63 – 74.

88. Барановская Т.П. Информационные системы и технологии в экономике / Т.П. Барановская, В.И. Лойко, М.И. Семенов, А.И. Трубилин - М.: Финансы и статистика, 2003. - 416 с

89. Гайдамакин Н.А. Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных. Вводный курс: Учеб. Пособие. - М.: Гелиос АРВ, 2002. - 368 с.

90. Мауэргауз Ю.Е. Информационные системы промышленного менеджмента. – М.: Филинъ, 1999.

91. Кулешов, А.П. Информационная модель как основа проектирования корпоративных автоматизированных информационных систем / А.П. Кулешов // Информационные технологии.- 2006. - № 3. - С. 26-30.

92. Семантика (программирование) [Электронный ресурс] / Википедия - Свободная энциклопедия – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_(%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5) – 13.12.2015 г.

93. DFD [Электронный ресурс] / Википедия - Свободная энциклопедия – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/DFD – 13.12.2015 г.

94. Махаммад М.Д. Разработка информационной системы для дизельных электростанций с возможностями прогноза их технического состояния: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.01 / Махаммад Мааз Джасем Махаммад; ГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар, 2009. – 23 с.

95. Предко А.В. Мониторинг, диагностирование и прогнозирование параметров технического состояния транспортных средств в условиях ITS / А.В. Предко, Ю.В. Грицук, И.В. Грицук, В.П. Волков // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования: Сборник научных трудов по материалам ежегодных конференций (Воронеж, 27 – 28 апреля 2015 г.) Выпуск 2. Воронеж. – 2015. – с. 126 – 131.

96. Информационная поддержка эксплуатации сложной техники [Электронный ресурс] / Д. А. Богданов, М. А. Соловьев, О. Э. Ковалев //

Рациональное Управление Предприятием. – 2009. – № 3. – С. 10-13 – Режим доступа к журналу: http://www.remmag.ru/admin/upload_data/remmag/09-3/SeaProject.pdf.

97. Інформаційні технології в технічній експлуатації автомобілів / Під загальною редакцією Волкова В.П. / В.П. Волков, В.П. Матейчик, М. Смешек, П.Б. Комов, І.В. Грицук, Т.В. Волкова, Є.О.Комов – Харків: ХНАДУ, 2014. – 324 с.

98. Моніторинг технічного стану автомобіля в життєвому циклі: підручник / В.П. Волков, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, І.А. Мармут, Т.В. Волкова, М.В. Володарець; під заг. редакцією В.П. Волкова. – Х.: ХНАДУ, 2017. – 312 с.

99. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Говорущенко Н.Я. – Х.: Вища школа, 1984. – 312 с.

100. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта). Ч.1 / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко – Х.: РИО ХГАДТУ, 1998. – 255 с.

101. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.

102. Алексеев В.В. Информационно-измерительные и управляющие системы мониторинга состояния распределенных технических и природных объектов/ В.В. Алексеев, П.Г. Королев, Н.И. Куракина [и др.] // Приборы. – 2009. – №10. – С.28 – 42.

103. Твір науково-практичного характеру «Технічний регламент і результати роботи інформаційного програмного комплексу (продукту) «IdenMonDiaOperCon «HNADU-16»» (Identification, Monitoring technical condition, Diagnosis, Operating conditions of the vehicle under ITS) при здійсненні ідентифікації, моніторингу параметрів технічного стану, діагностування, ідентифікації умов експлуатації транспортного засобу в умовах інтелектуальних транспортних систем» / В.П. Волков, І.В. Грицук, О.В. Предко [та ін] // Заявка від 04.04.2016 № 64765. – 2 с.

104. Левкович-Маслюк Л. Великие раскопки и великие вызовы. / Л.Левкович-Маслюк // Компьютера. – №11 (679.). – 2007. – С. 48 – 51.

105. Дюк В.А. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественнонаучных, технических и гуманитарных областях / В.А. Дюк, А.В. Флегонтов, И.К. Фомина // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – 2011. №138., с. 77 – 84 URL: http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologiy-intellektualnogo-analiza-dannyh-v-estestvennonauchnyh-tehnicheskih-i-gumanitarnyh-oblastyah - дата обращения: 06.11.2016.

106. Коваленко О.С. Обзор состояний, проблем и перспектив хранения и анализа данных в «облаке» / О.С. Коваленко // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. − № 5 (7). – С. 1 – 11.

107. Ежов А.А. Лекция: Извлечение знаний с помощью нейронных сетей. [Электронный ресурс] / Интернет университет информационных технологий / А.А. Ежов, С.А. Шумский // – Режим доступа: http://www.intuit.ru/department/expert/neurocomputing/9/ – 06.11.2016 г.

108. Короткова Т. Microsoft SQL Server 2008 R2: новый подход к управлению информацией [Электронный ресурс] / Т.Короткова // CoNEWS. Издание о высоких технологиях // – Режим доступа: http://www.cnews.ru/news /line/microsoft_sql_server_2008_r2_novyj.

109. Бергер Ч. Data Mining от Oracle: настоящее и будуще [Электронный ресурс] / CITFORUM // "Oracle’s Data Mining Solutions", Oracle OpenWorld White Paper, Конференция OOW2000, San Francisco, доклад 134, http://openworld.oracle.com, перевод на русский язык "Oracle Magazine/Русское Издание" №1, 2001г. – Режим доступа: http://citforum.ru/database/oracle/data_mining_solutions/.

110. Степанов Р. Г. Технология Data Mining: Интеллектуальный Анализ Данных. – Казань: Казанский Государственный Университетим. В.И.Ульянова-Ленина, 2008. – 58 с.

111. Пятецкий-Шапиро Г. Data Mining и перегрузка информацией / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод [и др.] // Вступительная статья к книге: Анализ данных и процессов - СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 512 с.- С.13 – 20.

112. Обсуждаем термин: data mining. Школа технического перевода [Электронный ресурс] / Ассоциация лексикографов Lingvo // – Режим доступа: http://www.lingvoda.ru/forum/actualthread.aspx?bid=10&tid=3001&hl =data+mining 221. Ситник В. Ф. Інтелектуальний аналіз даних (дейтамайнінг): навч. посібник / В. Ф. Ситник, М. Т. Краснюк. – К.: КНЕУ, 2007. – 376 с.

113. Data mining [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Data_mining.

114. Методы и средства интеллектуального анализа данных [Электронный ресурс] / iTteach // – Режим доступа: http://itteach.ru/predstavlenie-znaniy/metodi-i-sredstva-intellektualnogo-analiza-dannich.

115. Худяков І.В., Симоненко Р.В., Грицук І.В., Матейчик В.П., Волков В.П., Білоусова Т.П., Володарець М.В. Особливості дистанційної ідентифікації режимів праці та відпочинку водія в системі інформаційного моніторингу транспортних засобів. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Київ: ДУІТ. 2020. вип.№35 С.146-156.

116. Грицук І.В., Худяков І.В., Погорлецький Д.С., Манжелей В.С. Формирование морфологической структуры информационной системы мониторинга транспортных средств в условиях эксплуатации. Материалы Международной научно-практической конференции «Автомобиле– и тракторостроение». Белорусь, Минск, БНТУ. 24-27 мая 2019. Т.2. - С. 39-43.

117. Грицук І.В., Худяков І.В., Симоненко Р.В., Погорлецкий Д.С., Манжелей В.С. Дослідження структури інформаційної системи моніторингу сучасних транспортних засобів. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 21-23 жовтня 2019 року: збірник наукових праць Вінниця: ВНТУ. 2019. - С.65 - 68.

118. Грицук І.В., Симоненко Р.В., Худяков І.В., Манжелей В.С., Погорлецкий Д.С., Черненко В.В. Особливості розробки моделі бази даних інформаційної системи моніторингу транспортного засобу, оснащеного тахографом і трекером. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології на

автомобільному транспорті та машинобудуванні", 15-18 жовтня 2019 р., Харків: 2019. С.87-90.

119. Атрощенко В.А. Технические возможности повышения ресурса автономных электростанций энергетических систем: монография / В.А. Атрощенко, Ю.Д. Шевцов, П.В. Яцынин, Р.А. Дьяченко, М.Н. Педько. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2010. – 192 с.

120. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / [В.З. Бродский, Л.И. Бродский, Т.И. Голикова и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.

121. Рафалес-Лемарка Э.З. Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов / Э.З. Рафалес-Лемарка, В.Т. Николаев. – К.: Наукова думка, 1971. – 116 с.

122. Завадский Ю.В. Статистическая обработка эксперимента в задачах автомобильного транспорта / Ю.В. Завадский. – М.: МАДИ, 1982. – 136 с.

123. Критерій Фішера : сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B9_%D0%A4%D1%96%D1%88%D0%B5%D1%80%D0%B0.

124. Автомобільні двигуни: підручник / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко. – К.: Арістей, 2007. – 476 с.

125. Дубовкин Н.Ф. Справочник по теплофизическим свойствам углеводородных топлив и их продуктов сгорания / Н.Ф. Дубовкин. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 288 с.

126. Метод розрахунку втрат на тертя в кривошипно-шатунному механізмі двигуна / М.О. Гончар, В.П. Матейчик, В.А. Ніколаєнко, Р.Г. Павлюк // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів: зб. наук. пр. – К.: УТУ: ТАУ, 1998. – Вип. 6. – С. 10–15.

127. Редзюк А.М. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей в режимах малых нагрузок и холостого хода: дис. … канд. техн. наук: 05.04.02 / Редзюк Анатолий Михайлович. – К., 1982. – 273 с.

128. Температурное состояние, термическое сопротивление и трение компрессионных колец в двигателе / А.Ф. Шеховцов, Г.М. Рык, И.Я. Тухман, Е.И. Третьяк // Двигатели внутреннего сгорания. – Х., 1976. – Вып. 24. – С. 44–52.

129. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей: учебник / [С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.]; под общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.

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

131. Ленин И.М. Автомобильные и тракторные двигатели: теория, системы питания, конструкции и расчет / И.М. Ленин, К.Г. Попык, О.М. Малашкин. – М.: Высшая школа, 1969. – 656 с.

132. Грицук І.В. Концепція забезпечення оптимального температурного стану двигунів і транспортних засобів в умовах експлуатації: дис. … докт. техн. наук: 05.22.20 / Грицук Ігор Валерійович. – Харків, 2016. – 552 с.

133. Теоретичні основи теплотехніки: навч. посібник / Ю.Ф. Гутаревич, В.І. Дмитренко, А.О. Корпач, В.В. Кухтик. – К.: НТУ, 2009. – 136 с.

134. Автомобильный справочник / Robert Bosch GmbH; пер. с англ. Г.С. Дугина, Е.И. Комарова, Ю.В. Онуфрийчука; под ред. В.В. Аверкиева, В.В. Маслова. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 992 с.

135. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.

136. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология: учебник для ВУЗов / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко; под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высшая школа., 2001. – 273 с.

137. Гутаревич Ю.Ф. Охрана окружающей среды от загрязнений выбросами двигателей / Ю.Ф. Гутаревич. – К.: Урожай, 1989. – 224 с.

138. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник / [Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун та ін.]. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.

139. Канило П.М. Автотранспорт. Топливноэкологические проблемы и перспективы: монография. Х.: ХНАДУ, 2013. 272 с.

140. Соловйов С.О. Каталітичні нейтралізатори відпрацьованих газів ДВЗ / С.О. Соловйов, С.М. Орлик // Наука та інновації. – 2005. – № 2. – С. 58–72.

141. Жегалин О.И. Каталитические нейтрализаторы транспортных двигателей / О.И. Жегалин. – М.: Машиностроение, 1979. – 80 с.

142. Oser Polat. Grundlagen zur abgasteiningung von Ottomotoren mit der Katalysatortechnik / Oser Polat, Brandstetter Walter // MTZ. – 1984. – № 5. – S. 201–206.

143. Влияние воздействия высоких температур на характеристики автомобильных катализаторов тройного действия // Поршневые и газотурбинные двигатели: экспресс-информация. – 1985. – № 19. – С. 15–17.

144. Shelef M. Poisoning of Automotive Catalysts / M. Shelef, K. Otto, N. Otto // Advances in catalysis. – New York: Academic Press, 1978. – Vol. 27. – P. 311–365.

145. Kaspar J. Automotive catalytic converters: current status and some perspectives / J. Kaspar, P. Fornasiero, N. Hickey // Catalysis Today. – 2003. – Vol. 77. – P. 419–449.

146. Фраррауто Р.Дж. Блочные катализаторы: настоящее и будущее поколения / Р.Дж. Фраррауто, Р.М. Хек // Кинетика и катализ. – 1998. – Т. 39, № 5. – С. 646–652.

147. Металлические материалы для матриц нейтрализаторов // Поршневые и газотурбинные двигатели: экспресс-информация. – 1989. – № 22. – С. 12–14.

148. Rh-Loaded CeO_2-ZrO_2 Solid-Solutions as Highly Efficient Oxygen Exchangers: Dependence of the Reduction Behavior and the Oxygen Storage Capacity on the Structural-Properties / P. Fornasiero, R. Dimonte, G.R. Rao [et al.] // Journal of Catalysis. – 1995. – Vol. 151. – P. 168–177.

149. Relationship between the Zirconia-Promoted Reduction in the Rh-Loaded $Ce_{0.5}Zr_{0.5}O_2$ Mixed Oxide and the Zr-O Local Structure / G. Vlaic, P. Fornasiero, S. Geremia [et al.] // Journal of Catalysis. – 1997. – Vol. 168. – P. 386–392.

150. Shelef M. Ammonia Formation in Catalytic Reduction of Nitric Oxide by Molecular Hydrogen / M. Shelef, H. Gandhi // Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development. – 1972. – № 11. – P. 393–396.

151. Shelef M. The Reduction of Nitric Oxide in Automobile Emissions. Stabilization of Catalysts Containing Ruthenium / M. Shelef, H. Gandhi // Platinum Metals Review. – 1974. – № 18. – P. 2–14.

152. Coppage G.N. Use of an Electrically Heated Catalyst to Reduce Cold-Start Emissions in a Bi-Fuel Spark Ignited Engine / G.N. Coppage, S.R. Bell // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – New York: ASME, 2001. – Vol. 123. – P. 125–131.

153. Дяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згоряння: Теорія: підручник / В.Г. Дяченко; за ред. А.П. Марченка. - Харків: НТУ ХПІ, 2008. – 488 с.

154. Садовник І.І. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля з бензиновим двигуном додаванням водневмісного газу з використанням рекуперованої теплової енергії: дис. … канд. техн. наук: 05.22.20 / Садовник Іван Іванович. – Київ, 2021. – 224 с.

155. Конструкція та динаміка двигунів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом «Інженерна механіка» / А.Г. Говорун, А.О. Корпач. – К. : НТУ, 2007. – 124 с.

156. Литвинов А.С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств : учебник для вузов / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.

157. Зимелев Г.В. Теория автомобиля. - 2-е изд., перераб. - М.: Воениздат, 1957. - 455 с.

158. Сахно В.П. Автомобілі. Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність : навч. посіб. / [В.П. Сахно, Г.Б. Безбородова, М.М. Маяк та ін.]. – К. : КВІЦ, 2004. – 174 с.

159. Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навчальний посібник для ВНЗ. К.: Арістей, 2006. 176 с.

160. Автомобілі. Теорія : навчальний посібник / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков [та ін.] – Одеса : Військова академія, 2017. – 414 с.

161. Google Планета Земля : сайт. URL: https://www.google.com/intl/uk/earth/.

162. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Сєріков С.А., Гнатов А.В., Колєсніков А. В. Гібридні автомобілі. Наукове видання: Монографія — Харків, ХНАДУ. — 2008. — 327 с.

163. ДСТУ UN/ECE R 83-05:2009. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів.

164. План науково-дослідних і дослівно-конструкторських робіт ДП «ДержавтотрансНДІпроект» 2019-2020 роки : сайт. URL: https://insat.org.ua/files/nav/tkt/plans/Plan_NDIDKR_2019-2020.pdf.

165. Gritsuk, Igor, Vasyl Mateichyk, Miroslaw Smieszek, Vladimir Volkov, Yurii Gutarevych, Valery Aleksandrov, Roman Symonenko, and Valeriy Verbovskiy. “Improving the Vehicular Engine Pre-Start and After-Start Heating by Using the Combined Heating System.” HVAC System (November 14, 2018). doi:10.5772/intechopen.79467.

166. 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.

167. Спосіб дистанційного контролю, визначення роботоздатності і управління експлуатацією транспортних засобів. М.Ф. Дмитриченко, Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, І.В. Грицук, О.Б. Комов, М.П. Цюман, З.І. Краснокутська, А.П. Комов, О.В. Предко. Патент на корисну модель № 103852 Україна. МПК G07C 5/08 (2006.01), G08G 1/01 (2006.01). № a201315390; заявл. 27.12.2013; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1.

168. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 48063. Україна. Літературний письмовий твір наукового характеру «Технічний регламент програмного продукту “Service Fuel Eco “NTU-HADI 12” при реєстрації в ньому нового транспортного засобу» / В.П. Матейчик, О.К. Грищук, О.Ю. Гутаревич, С.В. Коломієць, В.П. Волков, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук, Л.О. Македонська, З.І. Краснокутська, А.П. Комов, Є.О. Комов (Україна). – № 48279; заявл. 26.12.2012; зареєстр. 26.02.2013.

169. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 51915. Україна. Комп’ютерна програма “Service Fuel Eco “NTU-HADI 12” при звичайній роботі і при реєстрації в ньому нового транспортного засобу» / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук, Л.О. Македонська, С.В. Коломієць, З.І. Краснокутська, А.П. Комов, Є.О. Комов, І.В. Матейчик, О.В. Предко (Україна). – № 52250; заявл. 28.08.2013; зареєстр. 28.10.2013.

170. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 51916. Україна. Науковий твір «Укрупнений алгоритм програмного продукту і математичну модель програмного продукту “Service Fuel Eco “NTU-HADI 12” при реєстрації в ньому нового транспортного засобу та при звичайній роботі» / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук, Л.О. Македонська, С.В. Коломієць, З.І. Краснокутська, А.П. Комов, Є.О. Комов, І.В. Матейчик, О.В. Предко (Україна). – № 52251; заявл. 28.08.2013; зареєстр. 28.10.2013.

171. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 51918. Україна. Науковий твір «Результати визначення показників технологічного розрахунку комерційної експлуатації інженерно-технічної служби під час ТО і Р та екологічних показників роботи ТЗ, з використанням програмного продукту “Service Fuel Eco “NTU-HADI 12” / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук, Л.О. Македонська, С.В. Коломієць, З.І. Краснокутська, А.П. Комов, Є.О. Комов, І.В. Матейчик, О.В. Предко (Україна). – № 52280; заявл. 28.08.2013; зареєстр. 28.10.2013.

172. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 53292. Україна. Твір науково-практичного характеру «Технічний регламент програмного продукту “Service Fuel Eco “NTU-HADI-12” при звичайній роботі» / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук, Л.О. Македонська, С.В. Коломієць, З.І. Краснокутська, А.П. Комов, Є.О. Комов, І.В. Матейчик, О.В. Предко (Україна). – № 53604; заявл. 22.11.2013; зареєстр. 24.01.2014.

173. В.П. Матейчик, В.П. Волков, І.В. Грицук, М.П. Цюман, Ю.В. Волков. Особливості структури систем моніторингу транспортних засобів на основі бортового комплексу ITS. Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К. : НТУ, 2014. - Вип. 2. - С.180-188.

174. В. Матейчик, М. Смєшек, М. Цюман. Методи і засоби моніторингу та контролю показників екологічної безпеки транспортних засобів в експлуатаційних умовах. Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв’язання»: тези доповідей, 26-28 березня 2015 року. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 111-114.

175. В.П. Матейчик, М.П. Цюман. Формування структури інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки транспортних засобів на окремих етапах життєвого циклу. Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ – 2015. – Вип. 2(32). – С. 193-200.

176. В. Матейчик, М. Цюман, І. Шевчук. Особливості функціонування інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки транспортних засобів. Materiały XXVI konferencji międzynarodowej «Systemy I srodki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia». – Seria Transport № 6. - Rzeszów: Politehnika Rzeszowska, 2015. – С. 409–416.

177. В. Матейчик, М. Цюман. Особливості моніторингу і контролю транспорту в умовах інтелектуальних систем. Всеукраїнська науково-практична конференція «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні (до 50-річчя інституту Укравтобуспром/ВКЕІ Автобуспром)»: тези доповідей. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – С. 63-66.

178. В.П. Матейчик, В.П. Волков, І.В. Грицук, М.П. Цюман. Особливості моніторингу і контролю транспортних засобів в умовах інтелектуальних систем. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів : науковий журнал. – Харків: Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, 2015. – № 3. – С. 279-287.

179. В.П. Матейчик, В.П. Волков, І.В. Грицук, М.П. Цюман. Особливості застосування методів визначення і оцінювання показників оптимального температурного стану двигуна і транспортного засобу в умовах експлуатації. Управління проектами, системний аналіз і логістика. Частина 1. Серія: «Технічні науки» – К. : НТУ, 2015. - Вип. 15. – С.108–118.

180. В.П. Матейчик, М. Смєшек, М.П. Цюман. Особливості моніторингу і контролю показників екологічної безпеки транспортних засобів і транспортних потоків в умовах інтелектуальних систем. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» – К.: НТУ – 2016. – Вип. 1(34). – С. 255–266.

181. В. Матейчик, М. Цюман. Способи моніторингу і контролю екологічної безпеки транспортного засобу і транспортного потоку. Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 7. - Rzeszów: Politehnika Rzeszowska, 2016. – С. 377–382.

182. Information model of V2I system of the vehicle technical condition remote monitoring and control in operation conditions / Igor V. Gritsuk, Vladimir Volkov, Vasyl Mateichyk, Yuriy Grytsuk, Yliya Nikitchenko, Dmytro Klets, Miroslaw Smieszek, Yuri Volkov, Roman Symonenko, Andrii Grytsuk. SAE Technical Paper 2018-01-0024, 2018, doi:10.4271/2018-01-0024.

183. Gritsuk, Igor V., Evgeny Zenkin E.Y., Nickolay Bulgakov, Andrii Golovan, Ivan Kuric, Vasyl Mateichyk, Milan Saga, et al. “The Complex Application of Monitoring and Express Diagnosing for Searching Failures on Common Rail System Units.” SAE Technical Paper Series (September 10, 2018). doi:10.4271/2018-01-1773.

184. Цюман М.П., Матейчик В.П., Артеменко Р.В., Садовник І.І. Аналіз впливу міських режимів руху транспортного засобу на витрату палива і шкідливі

викиди. Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Wybrane Zagadnienia : Monografia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Seria Transport № 13. - Rzeszów: Politehnika Rzeszowska, 2018. – С. 95–102.

185. Ivan Kuric, Vasyl Mateichyk, Miroslaw Smieszek, Mykola Tsiuman, Nataliia Goridko, Igor Gritsuk. The peculiarities of monitoring road vehicle performance and environmental impact. MATEC Web of Conferences ITEP'18, 244, 03003, 2018, DOI:10.1051/matecconf/201824403003.

186. Розробка і дослідження систем моніторингу засобів транспорту на основі інформаційних систем в умовах експлуатації. Науковий звіт НТУ ХНАДУ ІГ НАНУ, д/б тема згідно договору про співробітництво, № держ. реєстрації 0116U007887, Київ. – 2016.

187. Розробка інформаційної системи моніторингу транспортних засобів в умовах експлуатації. Науковий звіт НТУ ХНАДУ ІГ НАНУ ХДМА, д/б тема згідно договору про співробітництво, № держ. реєстрації 0117U007488, Київ. – 2017.

188. Оцінювання рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КОЛІСНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ – ІНФРАСТРУКТУРА» / Р. В. Симоненко, Автошляховик України. 2021. Вип. 1. с.22 – 30. DOI: 10.33868/0365-8392-2021-1-265-22-30

189. Особливості функціональних можливостей і телематичного забезпечення системи «КОЛІСНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ-ІНФРАСТРУКТУРА» / Симоненко Р.В. Вісник Приазовського державного технічного університету. - 2020. - № 41. - С. 211-216. - (Серія: Технічні науки). DOI: 10.31498/2225-6733.41.2020.226218

190. До оцінки забруднення довкілля транспортними засобами на окремих етапах життєвого циклу / Симоненко Р.В., Матейчик В.П., Коломієць С.В., Горідько Н.М. Вісник НТУ. 2010. Вип. 21. Ч. 2. с.33 – 37.

191. Управління екологічною безпекою транспортних потоків міста / Симоненко Р.В., Олійник Р.В., Никонович С.О., Риль А.І. Вісник НТУ. 2011. Вип. 22. с.53 – 58.

192. Вплив виду палива на його витрату при русі автомобіля за європейським міським їздовим циклом / Симоненко Р.В., Манько І.В., Клименко О.А., Кудренко О.В. Вісник НТУ. 2012. Вип. 25. с.259 – 262.

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

194. Розширення паливної бази автомобільного транспорту використанням біогазу як моторного палива / Симоненко Р.В., Шиманський С.І., Назаренко М.Б., Говорун А.Г. Автошляховик України. 2013. Вип. 3. с.2 – 5.

195. Обґрунтування доцільності переведення легкового автомобіля з бензиновим двигуном на зріджений нафтовий газ завдяки встановленню сучасної системи подачі газу. / Симоненко Р.В., Манько І.В. Автошляховик України. 2013. Вип. 6. с.2 – 4.

196. Використання біогазу як моторного палива / Симоненко Р.В., Шиманський С.І., Мержиєвська Л.П., Говорун А.Г. Автошляховик України. 2013. Вип. 6. с.13 – 15.

197. Особливості показників автомобільного двигуна при роботі в несталих режимах на стисненому природному газі / Симоненко Р.В., Клименко О.А., Шиманський С.І., Назаренко М.Б., Говорун А.Г. Автошляховик України. 2017. Вип. 1- 2. с. 41 – 44.

198. Удосконалення газової паливної апаратури двигуна автомобіля при роботі на стисненому природному газі / Шиманський С.І., Симоненко Р.В., Колобов К.С., Говорун А.Г. Вісник НТУ. 2017. Вип. 1(37). с.63 – 67.

199. Особливості структури і взаємоз’язку функціональних можливостей бортового інформаційного комплексу для забезпечення інформаційного обміну між елементами ITS транспортного засобу / Волков В.П., Грицук І.В., Симоненко Р.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В. Вісник НТУ. 2017. Вип. 3(39). с.21 – 31.

200. Математична модель умовного руху автомобіля в режимах Європейського їздового циклу при використанні біогазу як моторного палива. / Симоненко Р.В., Шиманський С.І. Machinery & Energetics. Journal of Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No. 2, с. 81-85.ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online).

201. Формування і аналіз інформаційної моделі предметної області моніторінгу переметрів тахографа і трекера в системі технічного стану транспортного засобу./ Грицук І.В, Макарова Т.В, Симоненко Р.В., Худяков І.В., Черненко В.В. Вісник машинобудування та транспорту No2(10), 2019, с. 24-33. УДК 681.518.5 DOI: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-24-33/ ISSN2415-3486

202. Особливості дослідження теплоенергетичних характеристик теплоакумулюючого матеріалу для здійснення комбінованого прогріву гібридного транспортного засобу. Волков В.П., Грицук І.В., Володарець М.В., Погорлецький Д.С., Симоненко Р.В. - Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2019. Випуск № 65. С. 39-46.

203. Совершенствование процессов тепловой подготовки двигателя транспортного средства, оснащенного системами подачи бензина и сжиженного нефтяного газа./ И. В. Грицук, Д. С. Погорлецкий, Р. В. Симоненко, И. В. Худяков. ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ 1'2020, с. 36-44 УДК 621.43, DOI: 10.20998/0419-8719.2020.1.05, ISSN 0419-8719

204. Спосіб зменшення викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами при роботі двигуна на суміші стисненого природного газу та біогазу / Shymanskyi Serhii, Hovorun Anatolii, Symonenko Roman. SYSTEMY I ŚRODKI TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO – Monografia pod redakcją naukową KAZIMIERZALEJDY, Nr 13. RZESZÓW 2018. ст. 89 – 94.

205. The Use of Digital Technologies to Provide Condition Monitoring and Modes of Vehicle Operation. Igor Gritsuk, Artur Kagramanian, Igor Khudiakov, Anastasija Pinchuk, Roman Symonenko, Oksana Hrytsuk Workshop on ICTE in Transportation and Logistics, p. 137-144, 2020. doi:10.1007/978-3-030-39688-6_19

206. Analysis of heat transfer coefficients for simulation of the heat exchange between oil and the internal cavity faces of the isolated piston at variable gravity conditions./ A Bilohub, N Van Duong, F Sirenko, V Savchuk, I Bilousov, R Symonenko, I Zajačko. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 776 (2020) 012020. doi:10.1088/1757-899X/776/1/012020.

207. Features of mathematical modeling in the problems of determining the power of a turbocharged engine according to the characteristics of the turbocharger./ Andrii 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. SAE INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINES. doi:10.4271/03-13-01-0001 Volume 13, Issue 1, 2020 ISSN: 1946-3936eISSN: 1946-3944

208. Основи функціонування систем теплової підготовки транспортних засобів. Херсон, ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. – 314 с І.В. Грицук, В.П. Волков, Р.В. Симоненко, Т.В. Волкова

209. Инновационные технологии в технической эксплуатации автомобилей, Костанай, ТОО «New Line Media», 2021 – 316 с, / ISBN 978-601-7586-27-0 Волков В.П., Грицук И.В., Матейчик В.П., Грицук Ю.В., Симоненко Р.В.

210. Information support peculiarities of the system “Vehicle – infrastructure”. Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Efektywnosc I bezpieczenstwo. / Mateichyk V., Symonenko R., Vollkov V., Gritsuk I., Bulgakov M. / Monografia nr.20. Seria:Transport. - Rzeszow. -2020, c.85-92.

211. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Симоненко Р.В., Курносенко Д.В., Матейчик В.П. Особливості формування моделі системи моніторингу транспортного засобу в умовах експлуатації. Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», ХНАДУ, 2017. с. 85 – 87.

212. Грицук І.В., Матейчик В.П., Smieszek Miroslaw, Saga Milan, Kuris Ivan, Симоненко Р.В. Особливості отримання даних про параметри технічного стану і DID транспортних засобів в умовах експлуатації при виконанні дистанційного

моніторингу і діагностування. Матеріали 9-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» ХДМА, 2018. с. 42 – 46.

213. Худяков І.В., Володарець М.В., Симоненко Р.В. Адаптація інформаційного програмного комплексу експлуатації транспортного засобу для роботи у системі дистанційного моніторингу. Матеріали 9-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» ХДМА, 2018. с. 99 – 103.

214. Д.С. Погорлецкий, И.В. Грицук, Р.В. Симоненко, И.В. Худяков. Особенности информационной системы дистанционного мониторинга процессов тепловой подготовки двигателя транспортного средства, работающего на бензине и газовом топливе. Автотракторостроение и автомобильный транспорт, Сборник научных трудов, В 2 томах., Том 1, Минск, БНТУ., 2020 Материалы Международной научно-практической конференции «Автомобиле- и тракторостроение», состоявшейся на автотракторном факультете Белорусского национального технического университета 26–29 мая 2020 года, Минск,- БНТУ, 2020, С. 101-108

215. Симоненко Р.В., Вольська О.М. Принципи державного регулювання транспортної галузі. ІІ міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт та інфраструктура», НУБіП, 2019. с. 5 – 6.

216. Симоненко Р.В., Грицук І.В., Погорлецький Д.С, Володарець М.В., Худяков І.В. Особливості теплової підготовки і моніторингу процесів експлуатації двигунів транспортних засобів, працюючих на зрідженому газовому паливі. ІІ міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт та інфраструктура», НУБіП, 2019. с. 97 – 100.

217. Говорун А.Г., Симоненко Р.В., Шиманський С.І. Вплив використання суміші стисненого природного газу та біогазу на екологічні та економічні показники двигуна автомобіля. ІІ міжнародна науково-практична конференція «Автомобільний транспорт та інфраструктура», НУБіП, 2019. с. 101 – 104.

218. Худяков І.В., Грицук І.І., Погорлецький Д.С., Володарець Н.В., Симоненко Р.В. Техническое диагностирование судового дизеля с помощью тренажерного комплекса ERS-500 TECHSIM TRANSAS MIP LTD Міжнародна науково-практична конференція «Водний транспорт: сучасний стан та перспективи роззвитку», ДУІТ, 2019. с. 98-102.

219. Симоненко Р.В., Колінченко Ю.П. Шиманський С.І. Розвиток інтелектуальних транспортних систем України. Науково-практична конференція (онлайн) «Безпека та екологія на дорожньому транспорті», ДП «ДержавтотрансНДІпроект» – 2020, с. 10 – 11.

220. Симоненко Р.В., Шиманський С.І. Удосконалення газової паливної апаратури автомобіля. Науково-практична конференція (онлайн) «Безпека та екологія на дорожньому транспорті», ДП «ДержавтотрансНДІпроект» – 2020, с. 50 – 51.

221. Симоненко Р.В., Матейчик В.П., Грицук І.В. Особливості формування телематичного забезпечення системи «КОЛІСНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ – ІНФРАСТРУКТУРА» Науково-практична конференція «Marine Power Plants and Operation 2021» (MPP&O-2021), Одеса-2021 с. 455 – 461.

222. Симоненко Р.В., Матейчик В.П., Цюман М.П. Системний підхід до оцінювання експлуатаційної ефективності транспортних засобів. Симпозіум Науково-практична конференція Львів-2021.

223. Худяков І.В., Манжелей В.С., Сатулов А.І., Симоненко Р.В. Система дистанційного моніторингу комплексу експлуатації транспортного засобу. Міжнародна науково-практична конференція «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту», ХНАДУ, 2018. с. 192 – 194.

224. Вплив виду палива на його витрату при русі автомобіля за європейський міський їздовим циклом. / Манько І.В., Клименко О.А., Симоненко Р.В., Кудренко О.В. № 46571, від 30.11.2012.

225. Формування методу застосування класифікаї умов експлуатації автомобілів з використанням інформаційної системи моніторингу технічного стану

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., Покшевницька Т.В., Грицук А.І., Вербовська В.В., Грицук В.Ю., Ченцов А.В. № 75510, від 22.12.2017.

226. 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., Покшевницька Т.В., Грицук А.І., Вербовська В.В., Грицук В.Ю., Ченцов А.В. № 75503, від 22.12.2017.

227. 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., Покшевницька Т.В., Грицук А.І., Вербовська В.В., Грицук В.Ю., Ченцов А.В. № 75505, від 22.12.2017.

228. Науковий твір «Інформаційно-довідковий посібник користувача картки для цифрових тахографів». / Агеєв В.Б., Устименко В.С., Симоненко Р.В., Волков О.Ф., Дегтяр З.О., Колінченко Ю.П., Трохимченко В.М., Шиманський С.І., Чередниченко С.В. № 96612 від 12.03.2020.

229. Науковий твір «Комплект методично-технологічних документів щодо інспектування (перевірки придатності до експлуатації) колісних транспортних засобів категорій M2-3, N2-3, O1-4, відповідно до вимог Приписів ЄЕК ООН №1 та №2, доданих до Віденської Угоди» («КД ВУ»). / Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Волков О.Ф., Дегтяр З.О., Симоненко Р.В., Логвін С.М., Бродянський В.М, Чередниченко С.В., Бабін Ю.В., Нілов Р.Ю., Кравчук П.М., Поміновський А.О., Строкань О.В., Небораківськй Я.С. №94622, від 10.12.2019.

230. Науковий твір «Комплект методично-технологічних документів щодо інспектування (перевірки придатності до експлуатації) колісних транспортних засобів категорій N2-3, O3-4, відповідно до вимог Європейської Конвенції

Міністрів транспорту» («КД ЄКМТ»). / Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Волков О.Ф., Дегтяр З.О., Симоненко Р.В., Логвін С.М., Бродянський В.М, Чередниченко С.В., Бабін Ю.В., Нілов Р.Ю., Кравчук П.М., Поміновський А.О., Строкань О.В., Небораківський Я.С. №94621, від 10.12.2019.

231. Науковий твір «Службовий комплект методично-технологічних документів щодо перевірки придатності до експлуатації колісних транспортних засобів категорій М2-3, N2-3, О1-4, відповідно до вимог Приписів ЄЕК ООН №1 та №2, доданих до Віденської Угоди» («СКД-ВУ»). / Устименко В.С., Волков О.Ф., Дегтяр З.О., Симоненко Р.В., Логвін С.М., Бродянський В.М, Чередниченко С.В., Бабін Ю.В., Нілов Р.Ю., Кравчук П.М. №95205, від 10.01.2020.

232. 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.

233. Основні нововведення проекту Закону України «Про автомобільний транспорт» / Симоненко Р.В., Шевченко В.І. Автошляховик України – 2013 – №6 – с.2 – 4.

234. Система перевірки відповідності вантажівок вимогам ЄКМТ / Симоненко Р.В., Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Ковальов С.О., Бродянський В.М. Укравто Континент. 2005. Вип. 4. с.18 – 21.

235. Симоненко Р.В., Агеєв В.Б. Проблеми запровадження та використання тахографів в Україні. Перевізник. 2006. Вип. 6. с.12 – 13.

236. Симоненко Р.В., Агеєв В.Б. Проблеми запровадження та використання тахографів в Україні. Перевізник. 2006. Вип. 8. с.17 – 18.

237. Симоненко Р.В., Агеєв В.Б. Удосконалення законодавчої бази України щодо контролю робочого часу та відпочинку водіїв. Перевізник. 2006. Вип. 12. с.35 – 36.

238. Симоненко Р.В. Коли тахограф прийде до України? Перевізник. 2008. Вип. 8. с.22 – 23.

239. Симоненко Р.В. Цифрові проблеми перевізників. Перевізник. 2008. Вип. 13. с.14 – 17.

240. Забезпечення перевізників України міжнародними сертифікатами технічного огляду колісних транспортних засобів / Симоненко Р.В., Агеєв В.Б., Дігтяр З.О. Перевізник. 2009. Вип. 1 – 2. с.16 – 17.

241. Симоненко Р.В. Впровадження системи цифрових тахографів. Досвід, проблеми, перспективи. Перевізник. 2009. Вип. 16 – 17. с.4 – 4.

242. Симоненко Р.В. Запровадження та використання тахографів в Україні. Перевізник. 2010. Вип. 23 – 24. с.6 – 7.

243. Симоненко Р.В., Сабанська О. Міжнародна діяльність у сфері міжнародних автомобільних перевезень. Перевізник. 2011. Вип. 15 – 16. с.10 – 11.

244. Безпека автомобільних перевезень: основні проблеми та шляхи їх вирішення / Симоненко Р.В., Гержод Ю.В., Горбаха М.М., Редзюк А.М., Хабутдінов А.Р. Перевізник. 2012. Вип. 6. с.12 – 13.

245. Симоненко Р.В. Опрацювання зауважень до проекту закону України „Про автомобільний транспорт". Перевізник. 2013. Вип. 8. с.14.

246. Симоненко Р.В. П'яте засідання групи експертів з ЄУТР. Перевізник. 2013. Вип. 9 – 10. с.3 – 4.

247. Симоненко Р.В. Нова редакція „Посібника користувача системи квот багатосторонніх дозволів ЄКМТ", що діятиме з 1 січня 2014 року. Перевізник. 2013. Вип. 9 – 10. с.4 – 5.

248. Симоненко Р.В. Результати роботи груп комітету внутрішнього транспорту ЄЕК ООН. Перевізник. 2014. Вип. 15 – 16. с.14.

249. Система цифрової тахографії в Україні / Симоненко Р.В., Редзюк А.М., Агеєв В.Б., Устименко В.С., Назаренко М.Б. Перевізник. 2015.Вип. 5. с.24 – 26.

250. Новини з Женеви: робоча група ЄЕК ООН та група експертів ЄУТР. / Симоненко Р.В., Колінченко Ю.П. Перевізник. 2017. Вип. 1. с.4 – 6.

251. Впрвадження смарт-тахографів: досвід та перспективи. / Агеєв В.Б., Симоненко Р.В., Колінченко Ю.П. Перевізник – 2019 – №1 – с.9.

252. Використання біогазу як моторного палива. / Симоненко Р.В., Шиманський С.І., Говорун А.Г. Перевізник – 2013 – №8 – с.26-27.

253. Новини з женеви. / Симоненко Р.В., Колінченко Ю.П. Перевізник – 2019 – №11 – с.6-7.

254. 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.

Додаток А

Приклади наповнення множин об’єктів автоматизації, вхідних і вихідних інформаційних елементів, функцій автоматизації обробки інформації, завдань обробки даних, користувачів, відносин (взаємозв'язків) між компонентами, графи інформаційних структур та типи даних в у блоках інформаційної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

Таблиця А.1 – Об’єкти автоматизації КТЗ

№	Позначення	Найменування
1	$O_{ТЗ\ 1.1}$	Блок збирання і передачі інформації від двигуна КТЗ
2	$O_{ТЗ\ 1.2}$	Блок збирання і передачі інформації про витрату палива КТЗ
3	$O_{ТЗ\ 1.3}$	Блок збирання і передачі інформації про забезпечення значень викидів забруднюючих речовин
4	$O_{ТЗ\ 1.4}$	Блок збирання і передачі інформації про результати діагностування технічного стану КТЗ
5	$O_{ТЗ\ 1.5}$	Блок збирання і передачі інформації від КТЗ про параметри технічного стану
6	$O_{ТЗ\ 1.6}$	Блок збирання і передачі інформації про умови експлуатації КТЗ
7	$O_{ТЗ\ 1.7}$	Блок збирання і передачі інформації про ідентифікацію КТЗ

Таблиця А.2 – Об’єкти автоматизації реєстратора (тахографа) встановленого на транспортному засобі

№	Позначення	Найменування
1	$O_{tg2.1}$	Блок збирання і передачі інформації про ідентифікацію КТЗ, тахографа і водія КТЗ
2	$O_{tg2.2}$	Блок збирання і передачі інформації про порушення правил ПДР і режимів роботи оператора / водія КТЗ
3	$O_{tg2.3}$	Блок збирання і передачі інформації про час роботи оператора / водія КТЗ
4	$O_{tg2.4}$	Блок збирання і передачі інформації про швидкість КТЗ (від тахографа)
5	$O_{tg2.5}$	Блок збирання і передачі інформації про робочий стан КТЗ

Таблиця А.3 – Об’єкти автоматизації трекеру додаткових данних, встановленого на транспортному засобі

№	Позначення	Найменування
1	$O_{tr3.1}$	Блок збирання і передачі інформації про технічний стан КТЗ і причепа (додаткове обладнання)
2	$O_{tr3.2}$	Блок збирання і передачі інформації про забезпечення значень викидів забруднюючих речовин (додаткові датчики)

Таблиця А.4 – Об’єкти автоматизації трекеру системи теплової підготовки, встановленого на КТЗ

№	Позначення	Найменування
1	$O_{tr4.1}$	Блок збирання і передачі інформації від СТП
2	$O_{tr4.2}$	Блок збирання і передачі інформації від КТЗ
3	$O_{tr4.3}$	Блок збирання інформації про умови експлуатації КТЗ і пристроїв моніторингу

Таблиця А.5 – Об’єкти автоматизації фізичного стану оператора / водія

№	Позначення	Найменування
1	$O_{ФСВ\ 5.1}$	Блок збирання і передачі інформації про ідентифікацію КТЗ у транспортному потоці
2	$O_{ФСВ\ 5.2}$	Блок збирання і передачі інформації про фізичний стан оператора / водія

Таблиця А.6 – Основні інформаційні елементи об’єктів автоматизації КТЗ

№	Позначення	Найменування
1	$v_{ТЗ\ 1}$	Тиск моторної оливи (наявність нормального тиску моторного мастила)
2	$v_{ТЗ\ 2}$	Температура охолоджуючої рідини двигуна
3	$v_{ТЗ\ 3}$	Частота обертання двигуна
4	$v_{ТЗ\ 4}$	Положення колінчастого валу
5	$v_{ТЗ\ 5}$	Положення розподільного валу
6	$v_{ТЗ\ 6}$	Температура у впускному колекторі
7	$v_{ТЗ\ 7}$	Тиск повітря у впускному колекторі
8	$v_{ТЗ\ 8}$	Масова витрата повітря
9	$v_{ТЗ\ 9}$	Тиск палива в паливному ресивері
10	$v_{ТЗ\ 10}$	Тиск парів в системі подачі палива
11	$v_{ТЗ\ 11}$	Кут випередження впорскування
12	$v_{ТЗ\ 12}$	Абсолютне положення дроселя
13	$v_{ТЗ\ 13}$	Відносне положення дроселя
14	$v_{ТЗ\ 14}$	Абсолютне значення навантаження на двигун
15	$v_{ТЗ\ 15}$	Кількість мотогодин
16	$v_{ТЗ\ 16}$	Дистанційне керування КТЗ (двигун, гальма)
17	$v_{ТЗ\ 17}$	Напруга бортової мережі (акумуляторної батареї) КТЗ
18	$v_{ТЗ\ 18}$	Напруга в системі керування двигуном
19	$v_{ТЗ\ 19}$	Рівень палива в баку КТЗ
20	$v_{ТЗ\ 20}$	Миттєва витрата палива, літр / км (км / літр)
21	$v_{ТЗ\ 21}$	Середня витрата палива, літр / км (км / літр)
22	$v_{ТЗ\ 22}$	Витрата палива на 100 км пробігу (встановлена відстань)
23	$v_{ТЗ\ 23}$	Середня витрата палива на 100 км. пробігу
24	$v_{ТЗ\ 24}$	Передбачувана витрата палива на відповідний пробіг
25	$v_{ТЗ\ 25}$	Положення педалі акселератора (дозуючого органу)
26	$v_{ТЗ\ 26}$	Температура відпрацьованих газів (ВГ) у випускному колекторі
27	$v_{ТЗ\ 27}$	Викиди відпрацьованих газів, г / км
28	$v_{ТЗ\ 28}$	Викиди відпрацьованих газів, середні, г / км
29	$v_{ТЗ\ 29}$	Напруга на датчику відпрацьованих газів №1
30	$v_{ТЗ\ 30}$	Напруга на датчику відпрацьованих газів №2
31	$v_{ТЗ\ 31}$	Пробіг (відстань) від моменту появи похибки (несправності), км
32	$v_{ТЗ\ 32}$	Час пробігу КТЗ від моменту появи похибки (несправності), сек
33	$v_{ТЗ\ 33}$	Виявлення несправності
34	$v_{ТЗ\ 34}$	Розпізнавання несправності
35	$v_{ТЗ\ 35}$	Попередження про наявність несправності
36	$v_{ТЗ\ 36}$	Передача інформації про визначену несправність
37	$v_{ТЗ\ 37}$	Крутний момент транспортного двигуна (в русі КТЗ)

Продовження табл. А.6

38	$v_{ТЗ\ 38}$	Потужність двигуна КТЗ на пересування (в русі КТЗ)
39	$v_{ТЗ\ 39}$	Прискорення КТЗ (загальне, при встановлені додаткових датчиків))
40	$v_{ТЗ\ 40}$	Режими активного круїзконтролю
41	$v_{ТЗ\ 41}$	Режими ТО
42	$v_{ТЗ\ 42}$	Навантаження на другу вісь КТЗ
43	$v_{ТЗ\ 43}$	Швидкість КТЗ (GPS)
44	$v_{ТЗ\ 44}$	Швидкість КТЗ (OBD)
45	$v_{ТЗ\ 45}$	Порівняння (різниця) значень швидкостей GPS і OBD
46	$v_{ТЗ\ 46}$	Пробіг (відстань) КТЗ загальний, км
47	$v_{ТЗ\ 47}$	Пробіг (відстань) від початку вимірювань, км
48	$v_{ТЗ\ 48}$	Пробіг (відстань) добовий, км
49	$v_{ТЗ\ 49}$	Час пробігу КТЗ, сек
50	$v_{ТЗ\ 50}$	Час пробігу КТЗ загальний, сек
51	$v_{ТЗ\ 51}$	Час пробігу КТЗ в русі, загальний, сек
52	$v_{ТЗ\ 52}$	Час відстою КТЗ загальний, сек
53	$v_{ТЗ\ 53}$	Час пробігу КТЗ після запуску двигуна, сек
54	$v_{ТЗ\ 54}$	Номер сесії моніторингу (вимірювання на відповідному кроці сесії)
55	$v_{ТЗ\ 55}$	Середня температура оточуючого середовища
56	$v_{ТЗ\ 56}$	Середній тиск оточуючого середовища (за наявності відповідного датчика)
57	$v_{ТЗ\ 57}$	Координата КТЗ – довгота (GPS)
58	$v_{ТЗ\ 58}$	Координата КТЗ – широта (GPS)
59	$v_{ТЗ\ 59}$	CAN ідентифікатор КТЗ (*VIN*-код)
60	$v_{ТЗ\ 60}$	Час збирання інформації

Таблиця А.7 – Основні інформаційні елементи об’єктів автоматизації КТЗ с встановленим тахографом

№	Позначення	Найменування
80	v_{tg80}	Ідентифікація водія КТЗ
81	v_{tg81}	Ідентифікаційний номер карти і країни
82	v_{tg82}	Ідентифікаційний номер автомобіля, VIN, VRN
83	v_{tg83}	Країна реєстрації та реєстраційний номер автомобіля (VRN)
84	v_{tg84}	Ідентифікація тахографа
85	v_{tg85}	Ідентифікація одометра
86	v_{tg86}	Діапазон обертів двигуна і тривалість режимів роботи
87	v_{tg87}	Останній контроль, якому піддавався водій.
88	v_{tg88}	Зведення про діяльність за день, відомості про початок і закінчення (час, місце розташування і одометр).
89	v_{tg89}	Види діяльності із зазначенням часу початку і закінчення.
90	v_{tg90}	Дата і час останнього контролю перевищення швидкості. Дата і час першого перевищення швидкості і кількість перевищень швидкості.
91	v_{tg91}	П'ять найбільш серйозних перевищень швидкості за останні 365 днів. Дата, час і тривалість. Максимальна і середня швидкість.
92	v_{tg92}	Найбільш серйозні перевищення швидкості за останні десять днів. Дата, час і тривалість. Максимальна і середня швидкість.
93	v_{tg93}	Зміни стану задніх роз'ємів D1 / D2 і їх тривалість.
94	v_{tg94}	Час збирання інформації

Таблиця А.8 – Основні інформаційні елементи об’єктів автоматизації КТЗ с встановленим трекером додаткових показників

№	Позначення	Найменування
120	v_{tr120}	Навантаження на вісь (додатковий датчик)
121	v_{tr121}	Температура в кузові (додатковий датчик)
122	v_{tr122}	Тиск у шинах (додатковий датчик)
123	v_{tr123}	Температура у шинах автомобіля (додатковий датчик)

Продовження табл. А.8

124	v_{tr124}	Контроль роботи додаткового навісного обладнання. Дозволяє визначити час роботи, простою і провести аналіз раціональності використання додаткового обладнання. Контроль режимів роботи проводиться за частотою обертання двигуна додаткового обладнання (додатковий датчик)
125	v_{tr125}	Контроль положення верхнього навісного обладнання або робочих органів спецтехніки. Дозволяє провести аналіз часу роботи спецтехніки (додатковий датчик)
126	v_{tr126}	Контроль підйому / опускання кузова самоскида. Дозволяє визначити кількість виконаних рейсів і оцінити обсяги перевезених вантажів (додатковий датчик)
127	v_{tr127}	Контроль відкриття люка горловини цистерни. Дозволяє запобігти махінаціям з паливом чи іншою рідиною, що перевозиться, таким як, несанкціонований відбір, розбавлення, забруднення (додатковий датчик)
128	v_{tr128}	Масовий викид оксиду вуглецю (додатковий датчик)
129	v_{tr129}	Масовий викид вуглеводнів (додатковий датчик)
130	v_{tr130}	Масовий викид оксидів азоту (додатковий датчик)
131	v_{tr131}	Масовий викид твердих часток (додатковий датчик)
132	v_{tr132}	Час збирання інформації

Таблиця А.9 – Основні інформаційні елементи об’єктів автоматизації КТЗ с встановленим трекером системи теплової підготовки

№ п/п	Позначення	Найменування
150	v_{150}	Температура ОР на вході в ТА фазового переходу СТП (теплоносій 1 датчик 1)
151	v_{151}	Температура МО на вході в ТА фазового переходу СТП (теплоносій 2 датчик 2)
152	v_{152}	Температура ОР на виході з ТА фазового переходу СТП (теплоносій 1 датчик 3)
153	v_{153}	Температура МО на виході з ТА фазового переходу СТП (теплоносій 2 датчик 4)
154	v_{154}	Температура ТАМ в ТА фазового переходу СТП (датчик 1)
155	v_{155}	Температура ТАМ в ТА фазового переходу СТП (датчик 2)
156	v_{156}	Температура ТАМ в КТ фазового переходу СТП (датчик 1)
157	v_{157}	Температура ТАМ в КТ фазового переходу СТП (датчик 2)
158	v_{158}	Температура МО на вході в накопичувач СТП (датчик 1)
159	v_{159}	Температура МО на виході з СТП (датчик 2)
160	v_{160}	Температура ТАМ в ТА фазового переходу СТП
161	v_{161}	Температура ОР на вході в СТП (датчик 1)
162	v_{162}	Температура ОР на виході СТП (датчик 2)
163	v_{163}	Температура ТАМ в ТА фазового переходу СТП
164	v_{164}	Частота обертання додаткового насосу СОД 1 СТП
165	v_{165}	Частота обертання додаткового насосу СМ 2 СТП
166	v_{166}	Частота обертання насосу СУТТА 3 СТП
167	v_{167}	Частота обертання насосу КТ 4 СТП
168	v_{168}	Частота обертання насосу 2 КТ 5 СТП
169	v_{169}	Температура в салоні КТЗ
170	v_{170}	Швидкість КТЗ (GPS)
171	v_{171}	Максимальна швидкість КТЗ (GPS)
172	v_{172}	Пробіг (відстань) КТЗ загальний, км
173	v_{173}	Пробіг (відстань) від початку вимірювань, км
174	v_{174}	Пробіг (відстань) добовий, км

Продовження табл. А.9

175	v_{175}	Час пробігу КТЗ, сек
176	v_{176}	Час пробігу КТЗ загальний, сек
177	v_{177}	Час пробігу КТЗ в русі, загальний, сек
178	v_{178}	Час відстою КТЗ загальний, сек
179	v_{179}	Час пробігу КТЗ після запуску двигуна, сек
180	v_{180}	Кількість повідомлень моніторингу
181	v_{181}	Ідентифікація КТЗ (пристрою)
182	v_{182}	Часова зона клієнта
183	v_{183}	Загальна кількість поїздок
184	v_{184}	Рівень GSM сигналу
185	v_{185}	Рівень заряду батареї живлення
186	v_{186}	Координата КТЗ - довгота (GPS)
187	v_{187}	Координата КТЗ - широта (GPS)
188	v_{188}	Середня температура оточуючого середовища
189	v_{189}	Час збирання інформації

Таблиця А.10 – Основні інформаційні елементи об’єктів автоматизації фізичного стану оператора / водія

№	Позначення	Найменування
220	$v_{ФСВ\ 220}$	Швидкість КТЗ (GPS)
221	$v_{ФСВ\ 221}$	Середня температура оточуючого середовища
222	$v_{ФСВ\ 222}$	Координата КТЗ – довгота (GPS)
223	$v_{ФСВ\ 223}$	Координата КТЗ – широта (GPS)
224	$v_{ФСВ\ 224}$	Контроль тиску водія.
225	$v_{ФСВ\ 225}$	Контроль пульсу водія.
226	$v_{ФСВ\ 226}$	Контроль стану стресу водія.
227	$v_{ФСВ\ 227}$	Контроль стомленості водія.
228	$v_{ФСВ\ 228}$	Час збирання інформації

Таблиця А.11 – Функції автоматизації, що виконуються системою моніторингу параметрів технічного стану КТЗ

№	Позначення	Найменування
1	$f_{ТЗ\ 1}$	Періодичне збирання даних параметрів двигуна КТЗ за інтервал часу Δt
2	$f_{ТЗ\ 2}$	Періодичне збирання даних параметрів витрати палива КТЗ за інтервал часу Δt
3	$f_{ТЗ\ 3}$	Періодичне збирання даних параметрів щодо забезпечення екологічної безпеки КТЗ за інтервал часу Δt
4	$f_{ТЗ\ 4}$	Періодичне збирання параметрів щодо результатів діагностування технічного стану КТЗ за інтервал часу Δt
5	$f_{ТЗ\ 5}$	Періодичне збирання даних параметрів транспортного засобу за інтервал часу Δt
6	$f_{ТЗ\ 6}$	Періодичне збирання даних параметрів щодо умов експлуатації КТЗ за інтервал часу Δt
7	$f_{ТЗ\ 7}$	Періодичне збирання даних щодо інформації про ідентифікацію КТЗ за інтервал часу Δt
8	$f_{ТЗ\ 8}$	Прогнозування значень параметрів двигуна КТЗ
9	$f_{ТЗ\ 9}$	Прогнозування значень параметрів витрати палива КТЗ
10	$f_{ТЗ\ 10}$	Прогнозування значень параметрів забезпечення екологічної безпеки КТЗ
11	$f_{ТЗ\ 11}$	Прогнозування значень параметрів щодо результатів діагностування технічного стану КТЗ

Продовження табл. А.11

12	$f_{ТЗ\,12}$	Прогнозування значень параметрів КТЗ
13	$f_{ТЗ\,13}$	Прогнозування значень параметрів щодо умов експлуатації КТЗ
14	$f_{ТЗ\,14}$	Прогнозування значень параметрів щодо інформації про ідентифікацію КТЗ
15	$f_{ТЗ\,15}$	Формування звітів за параметрами двигуна КТЗ
16	$f_{ТЗ\,16}$	Формування звітів за параметрами витрати палива КТЗ
17	$f_{ТЗ\,17}$	Формування звітів за параметрами забезпечення екологічної безпеки КТЗ
18	$f_{ТЗ\,18}$	Формування звітів за параметрами щодо результатів діагностування технічного стану КТЗ
19	$f_{ТЗ\,19}$	Формування звітів за параметрами КТЗ
20	$f_{ТЗ\,20}$	Формування звітів за параметрами умов експлуатації КТЗ
21	$f_{ТЗ\,21}$	Формування звітів за параметрами щодо інформації про ідентифікацію КТЗ
22	$f_{ТЗ\,22}$	Забезпечення актуальності даних для прогнозування параметрів

Таблиця А.12 – Основні завдання обробки даних системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ

№	Позначення	Найменування
1	$h_{ТЗ\,1}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів двигуна КТЗ
2	$h_{ТЗ\,2}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів витрати палива КТЗ
3	$h_{ТЗ\,3}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів забезпечення екологічної безпеки КТЗ
4	$h_{ТЗ\,4}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів щодо результатів діагностування технічного стану КТЗ
5	$h_{ТЗ\,5}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів КТЗ
6	$h_{ТЗ\,6}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів щодо умов експлуатації КТЗ
7	$h_{ТЗ\,7}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів щодо інформації про ідентифікацію КТЗ
8	$h_{ТЗ\,8}$	Видалення даних параметрів двигуна КТЗ із бази даних (БД) у випадку втрати їх актуальності
9	$h_{ТЗ\,9}$	Видалення даних параметрів витрати палива КТЗ із БД у випадку втрати їх актуальності
10	$h_{ТЗ\,10}$	Видалення даних параметрів щодо забезпечення екологічної безпеки КТЗ із БД у випадку втрати їх актуальності
11	$h_{ТЗ\,11}$	Видалення даних параметрів щодо результатів діагностування технічного стану КТЗ у випадку втрати їх актуальності
12	$h_{ТЗ\,12}$	Видалення даних параметрів транспортного засобу із БД у випадку втрати їх актуальності
13	$h_{ТЗ\,13}$	Видалення даних параметрів щодо умов експлуатації КТЗ із БД у випадку втрати їх актуальності
14	$h_{ТЗ\,14}$	Видалення даних параметрів щодо інформації про ідентифікацію КТЗ із БД у випадку втрати їх актуальності
15	$h_{ТЗ\,15}$	Вибирання даних з БД за параметрами двигуна КТЗ для їх аналізу і прогнозування
16	$h_{ТЗ\,16}$	Вибирання даних з БД за параметрами витрати палива КТЗ для їх аналізу і прогнозування
17	$h_{ТЗ\,17}$	Вибирання даних з БД за параметрами щодо забезпечення екологічної безпеки КТЗ для їх аналізу і прогнозування
18	$h_{ТЗ\,18}$	Вибирання даних з БД за параметрами щодо результатів діагностування технічного стану КТЗ для їх аналізу і прогнозування

Продовження табл. А.12

19	$h_{ТЗ\ 19}$	Вибирання даних з БД за параметрами транспортного засобу для їх аналізу і прогнозування
20	$h_{ТЗ\ 20}$	Вибирання даних з БД за параметрами щодо умов експлуатації КТЗ для їх аналізу і прогнозування
21	$h_{ТЗ\ 21}$	Вибирання даних з БД за параметрами щодо інформації про ідентифікацію КТЗ для їх аналізу і прогнозування

Таблиця А.13 – Функції автоматизації, що виконуються системою моніторингу параметрів технічного стану КТЗ с встановленим тахографом

№	Позначення	Найменування
1	f_{tg1}	Періодичне збирання даних параметрів щодо ідентифікації КТЗ за інтервал часу Δt
2	f_{tg2}	Періодичне збирання даних щодо стану КТЗ за інтервал часу Δt
3	f_{tg3}	Періодичне збирання даних параметрів щодо часу роботи КТЗ за інтервал часу Δt
4	f_{tg4}	Періодичне збирання параметрів щодо швидкості КТЗ за інтервал часу Δt
5	f_{tg5}	Періодичне збирання даних параметрів щодо стану причепа за інтервал часу Δt
6	f_{tg6}	Прогнозування значень параметрів ідентифікації КТЗ
7	f_{tg7}	Прогнозування значень параметрів стану К**ТЗ**
8	f_{tg8}	Прогнозування значень параметрів часу роботи КТЗ
9	f_{tg9}	Прогнозування значень параметрів швидкості КТЗ
10	f_{tg10}	Прогнозування значень параметрів щодо стану причепа
11	f_{tg11}	Формування звітів за параметрами ідентифікації КТЗ
12	f_{tg12}	Формування звітів за параметрами стану К**ТЗ**
13	f_{tg13}	Формування звітів за параметрами часу роботи КТЗ
14	f_{tg14}	Формування звітів за параметрами швидкості КТЗ
15	f_{tg15}	Формування звітів за параметрами стану причепа
16	f_{tg16}	Забезпечення актуальності даних для прогнозування параметрів

Таблиця А.14 – Основні завдання обробки даних системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ с встановленим тахографом

№	Позначення	Найменування
1	h_{tg1}	Періодичне додавання в БД значень параметрів ідентифікації КТЗ
2	h_{tg2}	Періодичне додавання в БД значень параметрів стану КТЗ
3	h_{tg3}	Періодичне додавання в БД значень параметрів часу роботи КТЗ
4	h_{tg4}	Періодичне додавання в БД значень параметрів швидкості КТЗ
5	h_{tg5}	Періодичне додавання в БД значень параметрів стану причепа
6	h_{tg6}	Видалення даних параметрів ідентифікації КТЗ із бази даних (БД) у випадку втрати їх актуальності
7	h_{tg7}	Видалення даних параметрів стану КТЗ із БД у випадку втрати їх актуальності
8	h_{tg8}	Видалення даних параметрів часу роботи КТЗ із БД у випадку втрати їх актуальності
9	h_{tg9}	Видалення даних параметрів швидкості КТЗ у випадку втрати їх актуальності
10	h_{tg10}	Видалення даних параметрів стану причепа із БД у випадку втрати їх актуальності
11	h_{tg11}	Вибирання даних з БД за параметрами ідентифікації КТЗ для їх аналізу і прогнозування
12	h_{tg12}	Вибирання даних з БД за параметрами стану КТЗ для їх аналізу і прогнозування
13	h_{tg13}	Вибирання даних з БД за параметрами часу роботи КТЗ для їх аналізу і прогнозування

Продовження табл. А.14

14	h_{tg14}	Вибирання даних з БД за параметрами швидкості КТЗ для їх аналізу і прогнозування
15	h_{tg15}	Вибирання даних з БД за параметрами стану причепа для їх аналізу і прогнозування

Таблиця А.15 – Функції автоматизації, що виконуються системою моніторингу параметрів технічного стану КТЗ з встановленим реєстратором / трекером додаткових показників

№	Позначення	Найменування
1	$f_{tr1.1}$	Періодичне збирання даних параметрів про стан КТЗ і причепа (додаткове обладнання) за інтервал часу Δt
2	$f_{tr1.2}$	Періодичне збирання даних про екологічні показники КТЗ за інтервал часу Δt
3	$f_{tr1.3}$	Прогнозування значень параметрів про стан КТЗ і причепа (додаткове обладнання)
4	$f_{tr1.4}$	Прогнозування значень параметрів про екологічні показники КТЗ
5	$f_{tr1.5}$	Формування звітів за параметрами стану КТЗ і причепа (додаткове обладнання)
6	$f_{tr1.6}$	Формування звітів за параметрами екологічних показників КТЗ
7	$f_{tr1.7}$	Забезпечення актуальності даних для прогнозування параметрів

Таблиця А.16 – Основні завдання обробки даних системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ з встановленим реєстратором / трекером додаткових показників

№	Позначення	Найменування
1	$h_{tr1.1}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів про стан КТЗ і причепа (додаткове обладнання)
2	$h_{tr1.2}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів про екологічні показники КТЗ
3	$h_{tr1.3}$	Видалення даних параметрів про стан КТЗ і причепа (додаткове обладнання) із бази даних (БД) у випадку втрати їх актуальності
4	$h_{tr1.4}$	Видалення даних параметрів про екологічні показники КТЗ із БД у випадку втрати їх актуальності
5	$h_{tr1.5}$	Вибирання даних з БД за параметрами стану КТЗ і причепа (додаткове обладнання) для їх аналізу і прогнозування
6	$h_{tr1.6}$	Вибирання даних з БД за параметрами екологічних показників КТЗ для їх аналізу і прогнозування

Таблиця А.17 – Функції автоматизації, що виконуються системою моніторингу параметрів технічного стану КТЗ з встановленим реєстратором / трекером системи теплової підготовки

№	Позначення	Найменування
1	$f_{tr2.1}$	Періодичне збирання даних параметрів від СТП за інтервал часу Δt
2	$f_{tr2.2}$	Періодичне збирання даних від транспортного засобу за інтервал часу Δt
3	$f_{tr2.3}$	Періодичне збирання даних про умови експлуатації КТЗ і пристроїв моніторингу за інтервал часу Δt
4	$f_{tr2.4}$	Прогнозування значень параметрів про стан КСКП
5	$f_{tr2.5}$	Прогнозування значень параметрів про стан транспортного засобу
6	$f_{tr2.6}$	Прогнозування значень параметрів про умови експлуатації КТЗ і пристроїв моніторингу
7	$f_{tr2.7}$	Формування звітів за параметрами КСКП
8	$f_{tr2.8}$	Формування звітів за параметрами стан транспортного засобу

Продовження табл. А.17

9	$f_{tr2.9}$	Формування звітів за умовами експлуатації КТЗ і пристроїв моніторингу
10	$f_{tr2.10}$	Забезпечення актуальності даних для прогнозування параметрів

Таблиця А.18 – Основні завдання обробки даних системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ з встановленим трекером системи теплової підготовки

№	Позначення	Найменування
1	$h_{tr2.1}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів КСКП
2	$h_{tr2.2}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів про стан КТЗ
3	$h_{tr2.3}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів про умови експлуатації КТЗ і пристроїв моніторингу
4	$h_{tr2.4}$	Видалення даних параметрів про СТП із бази даних (БД) у випадку втрати їх актуальності
5	$h_{tr2.5}$	Видалення даних параметрів про стан транспортного засобу із БД у випадку втрати їх актуальності
6	$h_{tr2.6}$	Видалення даних параметрів про умови експлуатації КТЗ і пристроїв моніторингу
7	$h_{tr2.7}$	Вибирання даних з БД за параметрами СТП для їх аналізу і прогнозування
8	$h_{tr2.8}$	Вибирання даних з БД за параметрами стану транспортного засобу для їх аналізу і прогнозування
9	$h_{tr2.9}$	Вибирання даних з БД за параметрами умов експлуатації КТЗ і пристроїв моніторингу

Таблиця А.19 – Функції автоматизації, що виконуються системою моніторингу параметрів стану оператора

№	Позначення	Найменування
1	$f_{ФСВ\,1}$	Періодичне збирання даних щодо інформації про ідентифікацію КТЗ у транспортному потоці за інтервал часу Δt
2	$f_{ФСВ\,2}$	Періодичне збирання даних щодо інформації про стан оператора за інтервал часу Δt
3	$f_{ФСВ\,3}$	Прогнозування значень параметрів щодо інформації про ідентифікацію КТЗ у транспортному потоці
4	$f_{ФСВ\,4}$	Прогнозування значень параметрів щодо інформації про стан оператора
5	$f_{ФСВ\,5}$	Формування звітів за параметрами щодо інформації про ідентифікацію КТЗ у транспортному потоці
6	$f_{ФСВ\,6}$	Формування звітів за параметрами щодо інформації про стан оператора
7	$f_{ФСВ\,7}$	Забезпечення актуальності даних для прогнозування параметрів

Таблиця А.20 – Основні завдання обробки даних системи моніторингу параметрів стану оператора / водія

№	Позначення	Найменування
1	$h_{ФСВ\,1}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів щодо інформації про ідентифікацію КТЗ у транспортному потоці
2	$h_{ФСВ\,2}$	Періодичне додавання в БД значень параметрів щодо інформації про стан оператора
3	$h_{ФСВ\,3}$	Видалення даних параметрів щодо інформації про ідентифікацію КТЗ у транспортному потоці із БД у випадку втрати їх актуальності

Продовження табл. А.20

4	$h_{ФСВ\ 4}$	Видалення даних параметрів щодо інформації про стан оператора із БД у випадку втрати їх актуальності
5	$h_{ФСВ\ 5}$	Вибирання даних з БД за параметрами щодо інформації про ідентифікацію КТЗ у транспортному потоці для їх аналізу і прогнозування
6	$h_{ФСВ\ 6}$	Вибирання даних з БД за параметрами щодо інформації про стан оператор**а** для їх аналізу і прогнозування

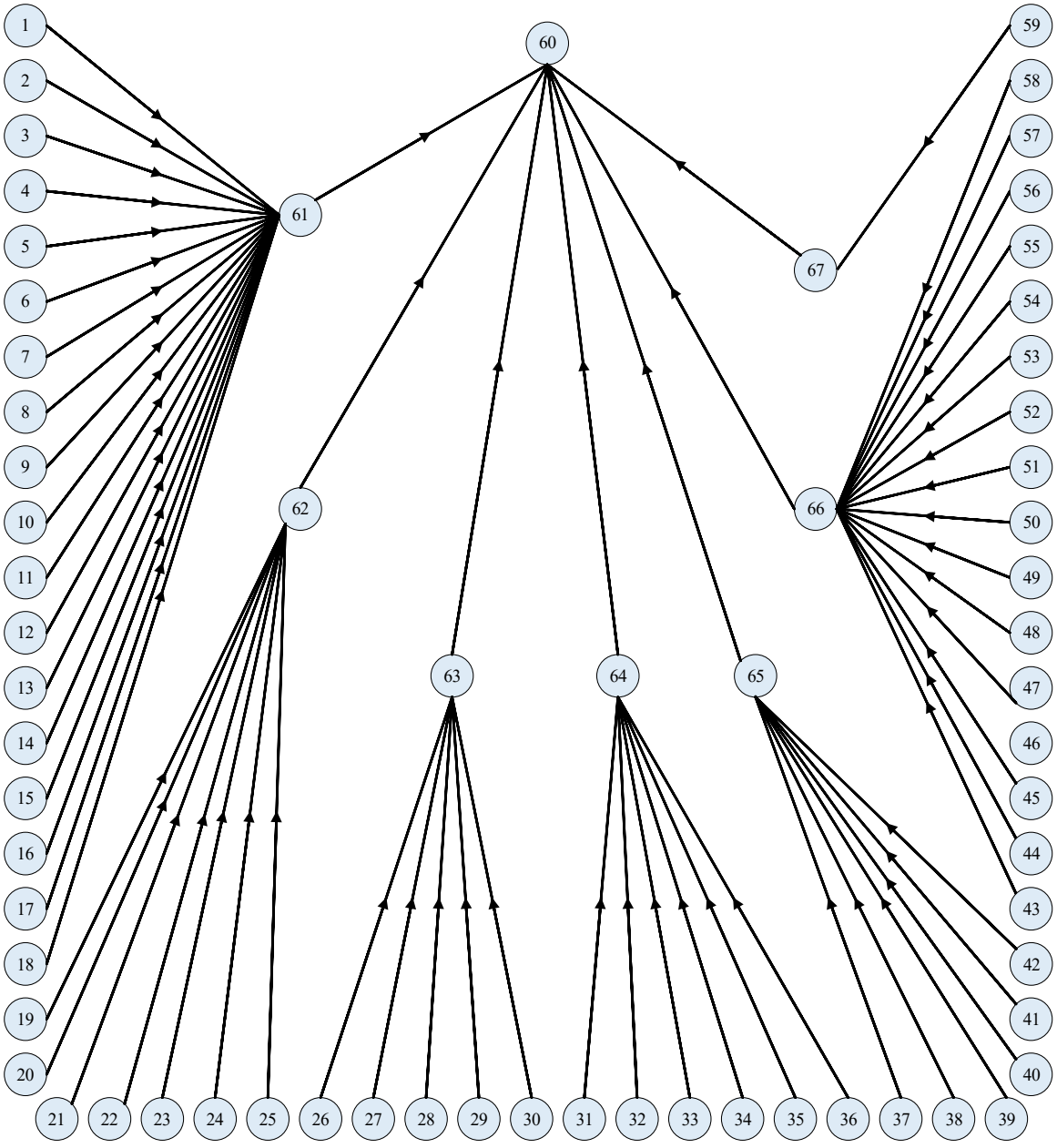


Рисунок А.1 – Орграф *G* інформаційної структури моделі системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ

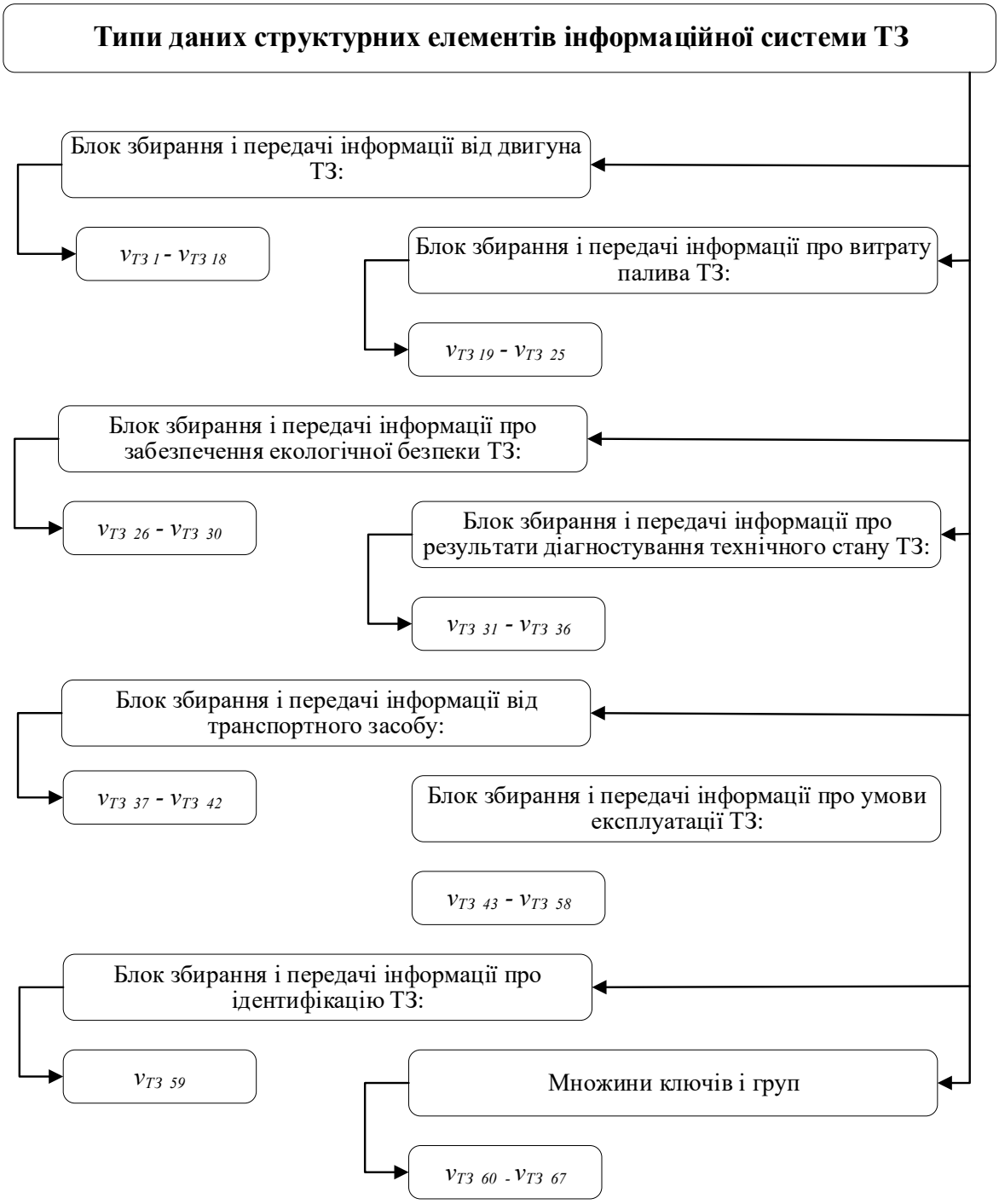


Рисунок А.2 – Типи даних у блоках структурних елементів інформаційної системи КТЗ

Додаток Б

Текст програми та приклади визначення поліноміальних коефіцієнтів та параметрів адекватності поліноміальних залежностей математичної моделі системи «КТЗ – Інфраструктура»

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3
0	$1\cdot10^3$	12.3	$1.722\cdot10^4$	
1	$1\cdot10^3$	13.1	$2.18\cdot10^4$	
2	$1\cdot10^3$	13.5	$2.426\cdot10^4$	
3	$1\cdot10^3$	14	$2.879\cdot10^4$	
4	$1\cdot10^3$	14.4	$3.306\cdot10^4$	
5	$1\cdot10^3$	14.8	$3.738\cdot10^4$	
6	$1\cdot10^3$	15.1	$4.178\cdot10^4$	
7	$1\cdot10^3$	15.4	$4.617\cdot10^4$	
8	$1\cdot10^3$	15.7	$5.049\cdot10^4$	
9	$1\cdot10^3$	16.1	$5.489\cdot10^4$	
10	$1\cdot10^3$	16.7	...	

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 2 \rangle}$

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 51000$ $Z_{E_2} := 50100$ $Z_{E_3} := 49200$

$M := augment(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 5$

$R := regress(M, V, n)$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 5.01 \times 10^4$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 8.1 \times 10^5$$

Коефіцієнти полінома

$coeffs =$

	0
0	$4.655\cdot10^{-6}$
1	$4.124\cdot10^{-4}$
2	-0.151
3	19.34
4	$4.432\cdot10^{-5}$
5	$-1.416\cdot10^{-7}$
6	$-1.078\cdot10^{3}$
7	-0.114
8	$2.151\cdot10^{-5}$
9	$5.271\cdot10^{-10}$
10	$2.511\cdot10^{4}$
11	8.855
12	$-1.168\cdot10^{-3}$
13	$-4.06\cdot10^{-9}$
14	$-5.207\cdot10^{-12}$
15	$-8.491\cdot10^{4}$
16	-171.333
17	$8.234\cdot10^{-3}$
18	$3.877\cdot10^{-6}$
19	$-6.306\cdot10^{-10}$
20	$5.832\cdot10^{-14}$

Розраховані значення

$poly\left(X_j, Y_j\right) =$

$1.414\cdot10^4$
$2.312\cdot10^4$
$2.735\cdot10^4$
$3.238\cdot10^4$
$3.622\cdot10^4$
$3.99\cdot10^4$
$4.255\cdot10^4$
$4.512\cdot10^4$
$4.76\cdot10^4$
$5.078\cdot10^4$
$5.528\cdot10^4$
$6.08\cdot10^4$
$6.638\cdot10^4$
$7.187\cdot10^4$
$7.796\cdot10^4$
$8.434\cdot10^4$
...

Дисперсія адекватності

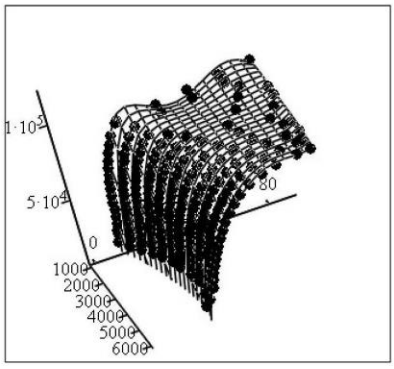
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} \left(Z_j - poly\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 4.668 \times 10^6$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 214$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases} = 5.763$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 2 \rangle}\right), poly$

Рисунок Б.1 – Визначення залежності абсолютного тиску у впускному колекторі двигуна автомобіля KIA CEED при живленні бензином

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3
0	$1\cdot10^3$	$1.838\cdot10^4$	10.56	
1	$1\cdot10^3$	$2.343\cdot10^4$	14.22	
2	$1\cdot10^3$	$2.594\cdot10^4$	16.19	
3	$1\cdot10^3$	$3.074\cdot10^4$	19.6	
4	$1\cdot10^3$	$3.572\cdot10^4$	23.14	
5	$1\cdot10^3$	$4.022\cdot10^4$	26.33	
6	$1\cdot10^3$	$4.504\cdot10^4$	29.76	
7	$1\cdot10^3$	$4.969\cdot10^4$	33.06	
8	$1\cdot10^3$	$5.449\cdot10^4$	36.47	
9	$1\cdot10^3$	$5.909\cdot10^4$	39.71	
10	$1\cdot10^3$	$6.395\cdot10^4$	...	

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 2 \rangle}$

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 81.85$ $Z_{E_2} := 82.94$ $Z_{E_3} := 83.82$

$M := augment(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 3$

$R := regress(M, V, n)$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 82.87$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 0.974$$

Коефіцієнти полінома

$coeffs =$

	0
0	$2.08\cdot10^{-12}$
1	$-2.613\cdot10^{-14}$
2	$-1.276\cdot10^{-9}$
3	$4.472\cdot10^{-4}$
4	$3.956\cdot10^{-7}$
5	$2.186\cdot10^{-11}$
6	-5.106
7	$-3.075\cdot10^{-3}$
8	$2.482\cdot10^{-6}$
9	$-4.144\cdot10^{-10}$
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Розраховані значення

$poly\left(X_j, Y_j\right) =$

9.887
14.25
16.399
20.465
24.613
28.268
32.078
35.636
39.165
42.396
45.637
48.75
51.567
54.397
57.187
62.07
...

Дисперсія адекватності

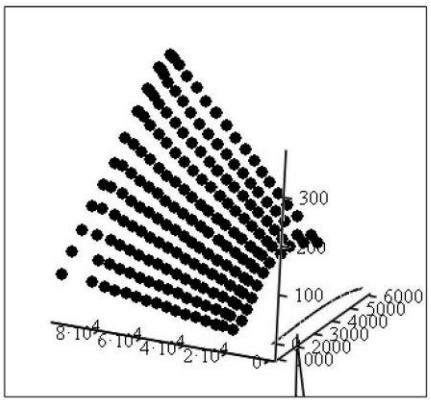
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} \left(Z_j - poly\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 9.101$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 218$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases} = 9.344$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 2 \rangle}\right), poly$

Рисунок Б.2 – Визначення залежності витрати повітря двигуна автомобіля KIA CEED при живленні ЗНГ

Діапазон зміни параметрів

a :=

	0	1	2	3
55	$2 \cdot 10^3$	29.496	178.531	
56	$2 \cdot 10^3$	29.496	178.529	
57	$2.5 \cdot 10^3$	3.083	18.481	
58	$2.5 \cdot 10^3$	4.61	27.619	
59	$2.5 \cdot 10^3$	6.207	37.174	
60	$2.5 \cdot 10^3$	7.88	47.379	
61	$2.5 \cdot 10^3$	9.55	57.586	
62	$2.5 \cdot 10^3$	11.153	67.454	
63	$2.5 \cdot 10^3$	12.88	78.111	
64	$2.5 \cdot 10^3$	14.557	88.501	
65	$2.5 \cdot 10^3$	16.33	...	

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 2 \rangle}$

$M := augment(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 3$

$R := regress(M, V, n)$

Коефіцієнти полінома

coeffs =

	0
0	$1.796 \cdot 10^{-5}$
1	$8.687 \cdot 10^{-4}$
2	-0.1
3	7.004
4	$4.083 \cdot 10^{-4}$
5	$-1.343 \cdot 10^{-7}$
6	0.583
7	-0.011
8	$4.052 \cdot 10^{-6}$
9	$-3.679 \cdot 10^{-10}$
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Розраховані значення

$poly(X_j, Y_j) =$

14.331
25.446
36.759
47.673
57.92
68.272
77.929
87.626
97.014
106.467
115.869
125.159
134.042
143.6
156.803
156.842
...

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 77.1$ $Z_{E_2} := 78.1$ $Z_{E_3} := 79.1$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 78.1$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 1$$

Дисперсія адекватності

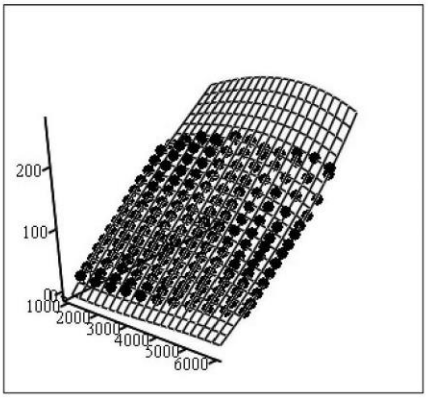
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} \left(Z_j - poly\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 7.36$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 255$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \quad = 7.36 \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 2 \rangle}\right), poly$

Рисунок Б.3 – Визначення залежності індикаторного крутного моменту двигуна автомобіля ВАЗ-21101 при живленні бензином

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3
0	$1 \cdot 10^3$	$1.106 \cdot 10^4$	363	16.331
1	$1 \cdot 10^3$	$1.695 \cdot 10^4$	363	15.734
2	$1 \cdot 10^3$	$2.297 \cdot 10^4$	363	15.204
3	$1 \cdot 10^3$	$2.877 \cdot 10^4$	363	14.804
4	$1 \cdot 10^3$	$3.456 \cdot 10^4$	363	14.531
5	$1 \cdot 10^3$	$4.041 \cdot 10^4$	363	14.375
6	$1 \cdot 10^3$	$4.627 \cdot 10^4$	363	14.359
7	$1 \cdot 10^3$	$5.225 \cdot 10^4$	363	14.517
8	$1 \cdot 10^3$	$5.813 \cdot 10^4$	363	14.811
9	$1 \cdot 10^3$	$6.404 \cdot 10^4$	363	15.148
10	$1 \cdot 10^3$	$7.013 \cdot 10^4$	363	...

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Y_1 := a^{\langle 2 \rangle}$ $Z := a^{\langle 3 \rangle}$

$M := augment(X, Y, Y_1)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 3$

$R := regress(M, V, n)$

Коефіцієнти полінома

coeffs =

	0
0	$4.262 \cdot 10^{-7}$
1	$1.349 \cdot 10^{-8}$
2	$-1.476 \cdot 10^{-5}$
3	0.012
4	$1.317 \cdot 10^{-10}$
5	$-1.699 \cdot 10^{-12}$
6	$-8.019 \cdot 10^{-6}$
7	-3.318
8	$-2.899 \cdot 10^{-4}$
9	$-8.305 \cdot 10^{-10}$
10	$3.007 \cdot 10^{-12}$
11	$1.037 \cdot 10^{-14}$
12	$-6.805 \cdot 10^{-9}$
13	$1.63 \cdot 10^{-3}$
14	$-1.711 \cdot 10^{-7}$
15	$-2.391 \cdot 10^{-11}$
16	306.617
17	0.046
18	$2.265 \cdot 10^{-6}$
19	$-3.979 \cdot 10^{-12}$
20	

Розраховані значен

$poly(X_j, Y_j, Y_{1_j}) =$

12.297
13.663
14.779
15.602
16.186
16.549
16.697
16.636
16.382
15.946
15.32
14.543
13.578
12.39
9.911
9.911
...

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 18.2$ $Z_{E_2} := 19.$ $Z_{E_3} := 17.4$

$$Z_{Ec} := \frac{(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3})}{3} = 18.2$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} (Z_{Ec} - Z_{E_j})^2}{3 - 1} = 0.64$$

Дисперсія адекватності

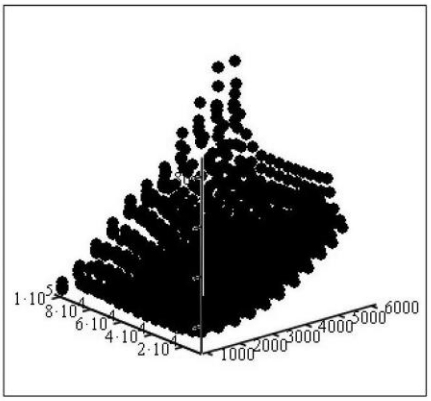
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} (Z_j - poly(X_j, Y_j, Y_{1_j}))^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 12.047$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 1.305 \times 10^3$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases} = 18.824$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 3 \rangle})$

Рисунок Б.4 – Визначення залежності моменту механічних втрат двигуна автомобіля ВАЗ-21101 при живленні паливом Е-40

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3
0	$1 \cdot 10^3$	$1.722 \cdot 10^4$	125.518	
1	$1 \cdot 10^3$	$2.18 \cdot 10^4$	146.69	
2	$1 \cdot 10^3$	$2.426 \cdot 10^4$	117.993	
3	$1 \cdot 10^3$	$2.879 \cdot 10^4$	131.284	
4	$1 \cdot 10^3$	$3.306 \cdot 10^4$	143.394	
5	$1 \cdot 10^3$	$3.738 \cdot 10^4$	155.555	
6	$1 \cdot 10^3$	$4.178 \cdot 10^4$	168.331	
7	$1 \cdot 10^3$	$4.617 \cdot 10^4$	180.331	
8	$1 \cdot 10^3$	$5.049 \cdot 10^4$	192.232	
9	$1 \cdot 10^3$	$5.489 \cdot 10^4$	203.352	
10	$1 \cdot 10^3$	$5.922 \cdot 10^4$	...	

$j := 0 .. \text{rows}(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 2 \rangle}$

$M := \text{augment}(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 3$

$R := \text{regress}(M, V, n)$

Коефіцієнти полінома

coeffs =

	0
0	$3.628 \cdot 10^{-12}$
1	$-3.053 \cdot 10^{-13}$
2	$4.125 \cdot 10^{-8}$
3	$8.786 \cdot 10^{-4}$
4	$-8.356 \cdot 10^{-7}$
5	$4.812 \cdot 10^{-11}$
6	126.366
7	-0.026
8	$9.29 \cdot 10^{-6}$
9	$-9.449 \cdot 10^{-10}$
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Розраховані значення

$\text{poly}(X_j, Y_j) =$

121.977
128.809
132.917
141.199
149.683
158.823
168.541
178.5
188.373
198.404
208.05
217.71
226.624
235.383
243.168
250.475
...

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 149$ $Z_{E_2} := 150$ $Z_{E_3} := 152$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 150.333$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 2.333$$

Дисперсія адекватності

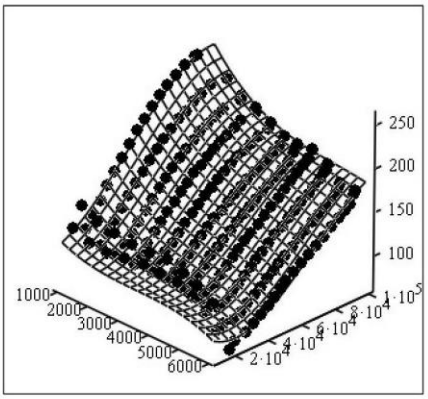
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{\text{rows}(a)-1} \left(Z_j - \text{poly}\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{\text{rows}(a) - \text{rows}(\text{coeffs})} = 30.263$$

$\text{rows}(a) - \text{rows}(\text{coeffs}) = 218$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \quad = 12.97 \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 2 \rangle}\right), \text{poly}$

Рисунок Б.5 – Визначення залежності втраченої у систему охолодження кількості теплоти двигуна автомобіля KIA CEED при живленні бензином

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3	4	5
46	$2\cdot10^3$	$9.14\cdot10^4$	1.003	606	$2.404\cdot10^3$	12.46
47	$2\cdot10^3$	$9.883\cdot10^4$	1.079	609.1	$2.513\cdot10^3$	12.65
48	$2\cdot10^3$	$9.883\cdot10^4$	1.079	609.1	$2.513\cdot10^3$	12.65
49	$2\cdot10^3$	$9.883\cdot10^4$	1.079	609.1	$2.513\cdot10^3$	12.65
50	$2.5\cdot10^3$	$2.842\cdot10^4$	0.989	986.5	236.94	11.01
51	$2.5\cdot10^3$	$3.269\cdot10^4$	0.965	936.4	331.94	11.18
52	$2.5\cdot10^3$	$3.697\cdot10^4$	0.93	887	434.69	11.31
53	$2.5\cdot10^3$	$4.132\cdot10^4$	0.887	838.4	546.25	11.4
54	$2.5\cdot10^3$	$4.559\cdot10^4$	0.841	792.4	663.46	11.46
55	$2.5\cdot10^3$	$4.994\cdot10^4$	0.793	747.1	793	11.51
56	$2.5\cdot10^3$	$5.396\cdot10^4$	0.749	707.1	922.22	...

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 2 \rangle}$

$M := augment(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 3$

$R := regress(M, V, n)$

Коефіцієнти полінома

$coeffs =$

	0
0	$1.691\cdot10^{-14}$
1	$3.894\cdot10^{-15}$
2	$-5.38\cdot10^{-10}$
3	$6.001\cdot10^{-5}$
4	$-3.83\cdot10^{-8}$
5	$7.588\cdot10^{-12}$
6	-2.105
7	$2.829\cdot10^{-3}$
8	$-7.382\cdot10^{-7}$
9	$3.898\cdot10^{-11}$
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Розраховані значення

$poly(X_j, Y_j) =$

0.412
0.476
0.503
0.547
0.584
0.614
0.644
0.672
0.705
0.74
0.786
0.844
0.914
1.01
1.145
1.606
...

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 0.793$ $Z_{E_2} := 0.783$ $Z_{E_3} := 0.803$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 0.793$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 1 \times 10^{-4}$$

Дисперсія адекватності

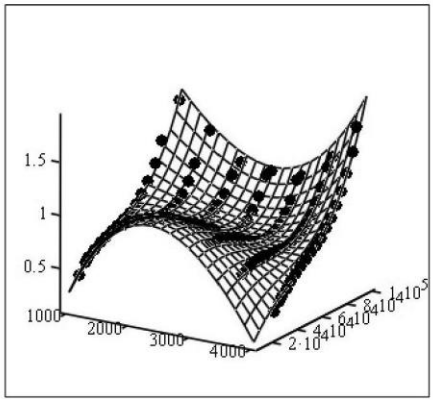
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} \left(Z_j - poly\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 9.701 \times 10^{-4}$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 119$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \quad = 9.701 \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 2 \rangle}\right), poly$

Рисунок Б.6 – Визначення залежності концентрації оксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигуна автомобіля KIA CEED при живленні ЗНГ

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3	4	5
57	$2.5\cdot10^3$	$1.14\cdot10^4$	0.585	170.7	400.4	12.41
58	$2.5\cdot10^3$	$1.622\cdot10^4$	0.564	159.2	761.96	12.43
59	$2.5\cdot10^3$	$2.143\cdot10^4$	0.548	149	$1.1\cdot10^3$	12.45
60	$2.5\cdot10^3$	$2.69\cdot10^4$	0.537	140.3	$1.41\cdot10^3$	12.46
61	$2.5\cdot10^3$	$3.233\cdot10^4$	0.532	133.6	$1.675\cdot10^3$	12.47
62	$2.5\cdot10^3$	$3.749\cdot10^4$	0.534	129.2	$1.887\cdot10^3$	12.46
63	$2.5\cdot10^3$	$4.304\cdot10^4$	0.541	126.5	$2.068\cdot10^3$	12.46
64	$2.5\cdot10^3$	$4.847\cdot10^4$	0.555	126	$2.199\cdot10^3$	12.44
65	$2.5\cdot10^3$	$5.426\cdot10^4$	0.577	127.7	$2.289\cdot10^3$	12.42
66	$2.5\cdot10^3$	$5.99\cdot10^4$	0.605	131.6	$2.327\cdot10^3$	12.39
67	$2.5\cdot10^3$	$6.566\cdot10^4$	0.64	138	$2.316\cdot10^3$	...

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 3 \rangle}$

$M := augment(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 3$

$R := regress(M, V, n)$

Коефіцієнти полінома

$coeffs =$

	0
0	$3.236\cdot10^{-12}$
1	$-1.175\cdot10^{-13}$
2	$4.497\cdot10^{-8}$
3	$-4.176\cdot10^{-3}$
4	$1.307\cdot10^{-10}$
5	$1.346\cdot10^{-11}$
6	287.362
7	-0.064
8	$1.696\cdot10^{-5}$
9	$-1.338\cdot10^{-9}$
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Розраховані значення

$poly(X_j, Y_j) =$

199.427
183.323
169.158
157.804
149.266
142.783
138.8
136.797
136.802
138.732
142.538
148.059
154.945
164.053
189.34
189.34
...

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 126$ $Z_{E_2} := 123$ $Z_{E_3} := 129$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 126$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 9$$

Дисперсія адекватності

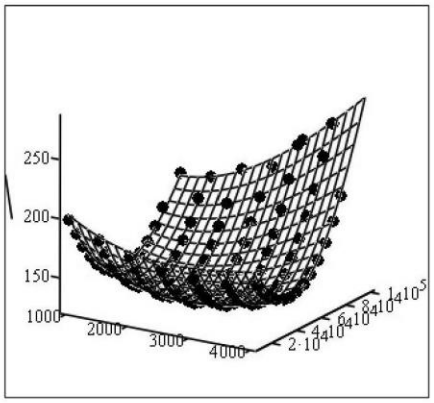
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} \left(Z_j - poly\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 9.346$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 123$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases} = 1.038$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 3 \rangle}\right), poly$

Рисунок Б.7 – Визначення залежності концентрації вуглеводнів у відпрацьованих газах двигуна автомобіля ВАЗ-21101при живленні бензином

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3	4	5
57	$2.5\cdot10^3$	$1.165\cdot10^4$	0.56	170.4	428.57	12.26
58	$2.5\cdot10^3$	$1.679\cdot10^4$	0.539	158.3	825.59	12.28
59	$2.5\cdot10^3$	$2.22\cdot10^4$	0.524	147.9	$1.186\cdot10^3$	12.3
60	$2.5\cdot10^3$	$2.775\cdot10^4$	0.514	139.4	$1.507\cdot10^3$	12.31
61	$2.5\cdot10^3$	$3.311\cdot10^4$	0.51	133.1	$1.772\cdot10^3$	12.31
62	$2.5\cdot10^3$	$3.872\cdot10^4$	0.512	128.6	$2.004\cdot10^3$	12.31
63	$2.5\cdot10^3$	$4.421\cdot10^4$	0.52	126.3	$2.182\cdot10^3$	12.3
64	$2.5\cdot10^3$	$4.991\cdot10^4$	0.535	126.1	$2.315\cdot10^3$	12.28
65	$2.5\cdot10^3$	$5.566\cdot10^4$	0.556	128.2	$2.399\cdot10^3$	12.26
66	$2.5\cdot10^3$	$6.159\cdot10^4$	0.586	132.7	$2.431\cdot10^3$	12.23
67	$2.5\cdot10^3$	$6.716\cdot10^4$	0.62	139.2	$2.411\cdot10^3$	...

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 4 \rangle}$

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 2315$ $Z_{E_2} := 2295$ $Z_{E_3} := 2335$

$M := augment(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 3$

$R := regress(M, V, n)$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 2.315 \times 10^3$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 400$$

Коефіцієнти полінома

$coeffs =$

	0
0	$-7.865\cdot10^{-11}$
1	$1.371\cdot10^{-12}$
2	$-7.782\cdot10^{-7}$
3	0.076
4	$1.225\cdot10^{-5}$
5	$-2.409\cdot10^{-10}$
6	$-1.319\cdot10^3$
7	0.268
8	$-4.348\cdot10^{-5}$
9	$1.598\cdot10^{-8}$
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Розраховані значення

$poly\left(X_j, Y_j\right) =$

-213.83
165.652
496.475
763.533
980.24
$1.151\cdot10^3$
$1.274\cdot10^3$
$1.352\cdot10^3$
$1.385\cdot10^3$
$1.374\cdot10^3$
$1.32\cdot10^3$
$1.226\cdot10^3$
$1.087\cdot10^3$
893.442
440.7
440.696
...

Дисперсія адекватності

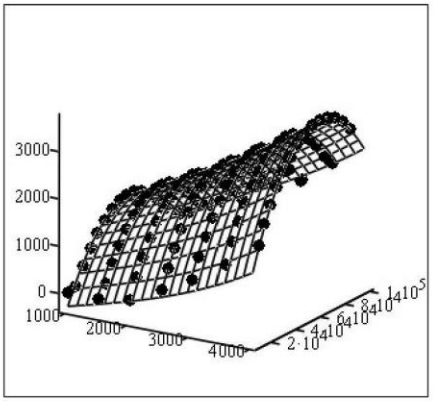
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} \left(Z_j - poly\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 2.911 \times 10^3$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 124$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \quad = 7.276 \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 4 \rangle}\right), poly$

Рисунок Б.8 – Визначення залежності концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах двигуна автомобіля ВАЗ-21101при живленні паливом Е-40

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3	4	5
46	$2 \cdot 10^3$	$8.765 \cdot 10^4$	2.664	935.6	$2.607 \cdot 10^3$	13.82
47	$2.5 \cdot 10^3$	$2.075 \cdot 10^4$	1.755	980.8	149.4	11.13
48	$2.5 \cdot 10^3$	$2.493 \cdot 10^4$	1.774	978.9	180.8	11.34
49	$2.5 \cdot 10^3$	$2.647 \cdot 10^4$	1.771	972.9	198.39	11.41
50	$2.5 \cdot 10^3$	$3.037 \cdot 10^4$	1.745	948.7	252.54	11.55
51	$2.5 \cdot 10^3$	$3.448 \cdot 10^4$	1.693	910.5	327.51	11.66
52	$2.5 \cdot 10^3$	$3.844 \cdot 10^4$	1.628	864.8	416.16	11.74
53	$2.5 \cdot 10^3$	$4.23 \cdot 10^4$	1.555	814.9	517.49	11.79
54	$2.5 \cdot 10^3$	$4.624 \cdot 10^4$	1.478	761.6	635.66	11.84
55	$2.5 \cdot 10^3$	$5.014 \cdot 10^4$	1.406	709.4	767.29	11.88
56	$2.5 \cdot 10^3$	$5.416 \cdot 10^4$	1.343	659	919.72	...

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 5 \rangle}$

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 11.88$ $Z_{E_2} := 11.9$ $Z_{E_3} := 11.86$

$M := augment(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 3$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 11.88$$

$R := regress(M, V, n)$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 4 \times 10^{-4}$$

Коефіцієнти полінома

	0
0	$-1.694 \cdot 10^{-13}$
1	$2.009 \cdot 10^{-14}$
2	$-2.545 \cdot 10^{-9}$
3	$9.791 \cdot 10^{-5}$
4	$2.909 \cdot 10^{-8}$
5	$-2.185 \cdot 10^{-12}$
6	19.23
7	$-8.8 \cdot 10^{-3}$
8	$2.475 \cdot 10^{-6}$
9	$-2.401 \cdot 10^{-10}$
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

$coeffs =$

Розраховані значення

$poly\left(X_j, Y_j\right) =$

14.112
14.304
14.382
14.488
14.55
14.587
14.606
14.618
14.632
14.659
14.708
14.793
14.92
15.115
15.384
15.783
...

Дисперсія адекватності

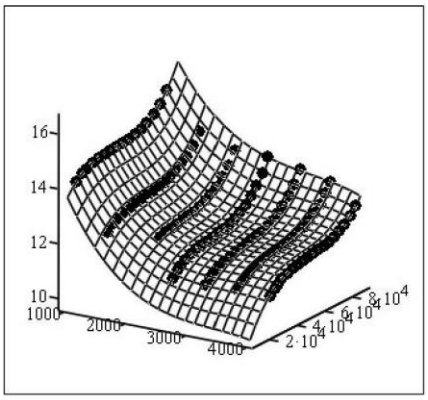
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} \left(Z_j - poly\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 7.402 \times 10^{-4}$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 112$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases} = 1.851$$

Критерій Фішера

$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 5 \rangle}\right), poly$

Рисунок Б.9 – Визначення залежності концентрації діоксиду вуглецю у відпрацьованих газах двигуна автомобіля KIA CEED при живленні бензином

Діапазон зміни параметрів

$a :=$

	0	1	2	3	4	5
58	$2.5 \cdot 10^3$	$2.656 \cdot 10^4$	640.507			
59	$2.5 \cdot 10^3$	$2.842 \cdot 10^4$	645.035			
60	$2.5 \cdot 10^3$	$3.269 \cdot 10^4$	654.802			
61	$2.5 \cdot 10^3$	$3.697 \cdot 10^4$	664.806			
62	$2.5 \cdot 10^3$	$4.132 \cdot 10^4$	674.808			
63	$2.5 \cdot 10^3$	$4.559 \cdot 10^4$	684.57			
64	$2.5 \cdot 10^3$	$4.994 \cdot 10^4$	694.806			
65	$2.5 \cdot 10^3$	$5.396 \cdot 10^4$	704.564			
66	$2.5 \cdot 10^3$	$5.822 \cdot 10^4$	714.559			
67	$2.5 \cdot 10^3$	$6.243 \cdot 10^4$	724.551			
68	$2.5 \cdot 10^3$	$6.681 \cdot 10^4$	...			

$j := 0 .. rows(a) - 1$

$X := a^{\langle 0 \rangle}$ $Y := a^{\langle 1 \rangle}$ $Z := a^{\langle 2 \rangle}$

Дисперсія досліду

$Z_{E_1} := 695$ $Z_{E_2} := 697$ $Z_{E_3} := 693$

$M := augment(X, Y)$ $V := Z$

Степінь полінома $n := 2$

$R := regress(M, V, n)$

$$Z_{Ec} := \frac{\left(Z_{E_1} + Z_{E_2} + Z_{E_3}\right)}{3} = 695$$

$$S_e := \frac{\sum_{j=1}^{3} \left(Z_{Ec} - Z_{E_j}\right)^2}{3 - 1} = 4$$

Коефіцієнти полінома

$coeffs =$

	0
0	$7.758 \cdot 10^{-7}$
1	$-2.683 \cdot 10^{-11}$
2	$3.424 \cdot 10^{-4}$
3	415.357
4	0.074
5	$-3.249 \cdot 10^{-6}$
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Розраховані значення

$poly\left(X_j, Y_j\right) =$

506.532
512.173
514.975
520.333
525.904
530.923
536.302
541.492
546.843
551.967
557.387
562.936
568.346
574.304
580.945
596.665
...

Дисперсія адекватності

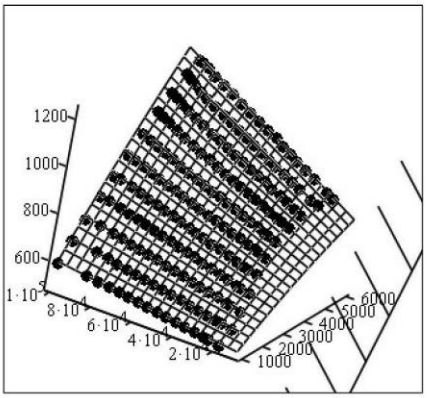
$$S_a := \frac{\sum_{j=0}^{rows(a)-1} \left(Z_j - poly\left(X_j, Y_j\right)\right)^2}{rows(a) - rows(coeffs)} = 18.679$$

$rows(a) - rows(coeffs) = 222$

$$F := \begin{cases} \frac{S_a}{S_e} & \text{if } S_a > S_e \quad = 4.67 \\ \frac{S_e}{S_a} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Критерій Фішера

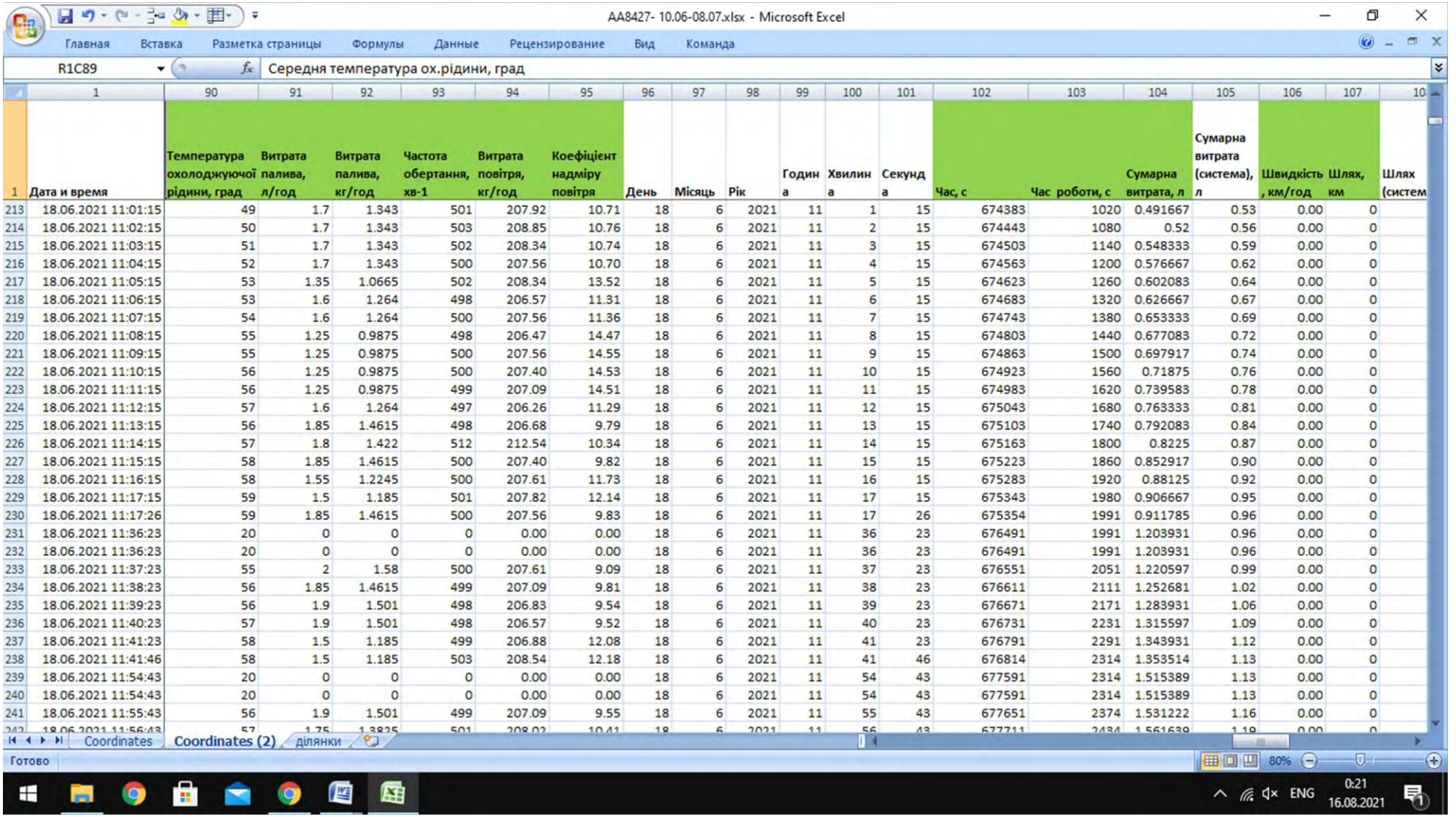
$F_T := 19.43$



$\left(a^{\langle 0 \rangle}, a^{\langle 1 \rangle}, a^{\langle 2 \rangle}\right), poly$

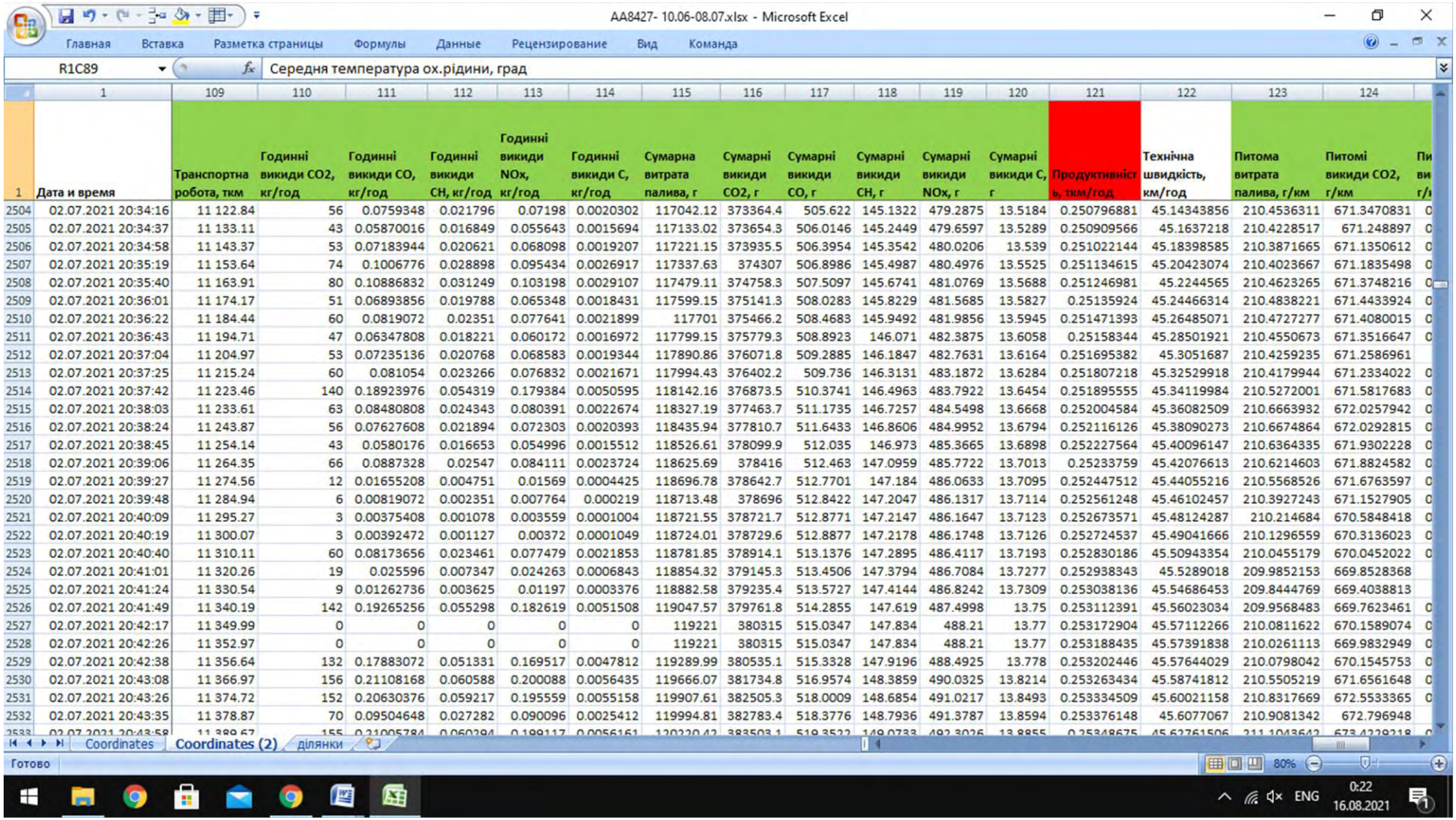
Рисунок Б.10 – Визначення залежності температури відпрацьованих газів двигуна автомобіля KIA CEED при живленні ЗНГ

Додаток В
Приклад звіту про параметри руху вантажного КТЗ



1	Дата и время	Температура охолоджуючої рідини, град	Витрата палива, л/год	Витрата палива, кг/год	Частота обертання, хв-1	Витрата повітря, кг/год	Коефіцієнт надміру повітря	День	Місяць	Рік	Годин а	Хвилин а	Секунд а	Час, с	Час роботи, с	Сумарна витрата, л	Сумарна витрата (система), л	Швидкість, км/год	Шлях, км	Шлях (систем
213	18.06.2021 11:01:15	49	1.7	1.343	501	207.92	10.71	18	6	2021	11	1	15	674383	1020	0.491667	0.53	0.00	0	
214	18.06.2021 11:02:15	50	1.7	1.343	503	208.85	10.76	18	6	2021	11	2	15	674443	1080	0.52	0.56	0.00	0	
215	18.06.2021 11:03:15	51	1.7	1.343	502	208.34	10.74	18	6	2021	11	3	15	674503	1140	0.548333	0.59	0.00	0	
216	18.06.2021 11:04:15	52	1.7	1.343	500	207.56	10.70	18	6	2021	11	4	15	674563	1200	0.576667	0.62	0.00	0	
217	18.06.2021 11:05:15	53	1.35	1.0665	502	208.34	13.52	18	6	2021	11	5	15	674623	1260	0.602083	0.64	0.00	0	
218	18.06.2021 11:06:15	53	1.6	1.264	498	206.57	11.31	18	6	2021	11	6	15	674683	1320	0.626667	0.67	0.00	0	
219	18.06.2021 11:07:15	54	1.6	1.264	500	207.56	11.36	18	6	2021	11	7	15	674743	1380	0.653333	0.69	0.00	0	
220	18.06.2021 11:08:15	55	1.25	0.9875	498	206.47	14.47	18	6	2021	11	8	15	674803	1440	0.677083	0.72	0.00	0	
221	18.06.2021 11:09:15	55	1.25	0.9875	500	207.56	14.55	18	6	2021	11	9	15	674863	1500	0.697917	0.74	0.00	0	
222	18.06.2021 11:10:15	56	1.25	0.9875	500	207.40	14.53	18	6	2021	11	10	15	674923	1560	0.71875	0.76	0.00	0	
223	18.06.2021 11:11:15	56	1.25	0.9875	499	207.09	14.51	18	6	2021	11	11	15	674983	1620	0.739583	0.78	0.00	0	
224	18.06.2021 11:12:15	57	1.6	1.264	497	206.26	11.29	18	6	2021	11	12	15	675043	1680	0.763333	0.81	0.00	0	
225	18.06.2021 11:13:15	56	1.85	1.4615	498	206.68	9.79	18	6	2021	11	13	15	675103	1740	0.792083	0.84	0.00	0	
226	18.06.2021 11:14:15	57	1.8	1.422	512	212.54	10.34	18	6	2021	11	14	15	675163	1800	0.8225	0.87	0.00	0	
227	18.06.2021 11:15:15	58	1.85	1.4615	500	207.40	9.82	18	6	2021	11	15	15	675223	1860	0.852917	0.90	0.00	0	
228	18.06.2021 11:16:15	58	1.55	1.2245	500	207.61	11.73	18	6	2021	11	16	15	675283	1920	0.88125	0.92	0.00	0	
229	18.06.2021 11:17:15	59	1.5	1.185	501	207.82	12.14	18	6	2021	11	17	15	675343	1980	0.906667	0.95	0.00	0	
230	18.06.2021 11:17:26	59	1.85	1.4615	500	207.56	9.83	18	6	2021	11	17	26	675354	1991	0.911785	0.96	0.00	0	
231	18.06.2021 11:36:23	20	0	0	0	0.00	0.00	18	6	2021	11	36	23	676491	1991	1.203931	0.96	0.00	0	
232	18.06.2021 11:36:23	20	0	0	0	0.00	0.00	18	6	2021	11	36	23	676491	1991	1.203931	0.96	0.00	0	
233	18.06.2021 11:37:23	55	2	1.58	500	207.61	9.09	18	6	2021	11	37	23	676551	2051	1.220597	0.99	0.00	0	
234	18.06.2021 11:38:23	56	1.85	1.4615	499	207.09	9.81	18	6	2021	11	38	23	676611	2111	1.252681	1.02	0.00	0	
235	18.06.2021 11:39:23	56	1.9	1.501	498	206.83	9.54	18	6	2021	11	39	23	676671	2171	1.283931	1.06	0.00	0	
236	18.06.2021 11:40:23	57	1.9	1.501	498	206.57	9.52	18	6	2021	11	40	23	676731	2231	1.315597	1.09	0.00	0	
237	18.06.2021 11:41:23	58	1.5	1.185	499	206.88	12.08	18	6	2021	11	41	23	676791	2291	1.343931	1.12	0.00	0	
238	18.06.2021 11:41:46	58	1.5	1.185	503	208.54	12.18	18	6	2021	11	41	46	676814	2314	1.353514	1.13	0.00	0	
239	18.06.2021 11:54:43	20	0	0	0	0.00	0.00	18	6	2021	11	54	43	677591	2314	1.515389	1.13	0.00	0	
240	18.06.2021 11:54:43	20	0	0	0	0.00	0.00	18	6	2021	11	54	43	677591	2314	1.515389	1.13	0.00	0	
241	18.06.2021 11:55:43	56	1.9	1.501	499	207.09	9.55	18	6	2021	11	55	43	677651	2374	1.531222	1.16	0.00	0	
242	18.06.2021 11:56:43	57	1.75	1.3825	501	208.02	10.41	18	6	2021	11	56	43	677711	2434	1.561639	1.19	0.00	0	

Продовження Додатку В



AA8427- 10.06-08.07.xlsx - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Команда

R1C89 Середня температура ох.рідини, град

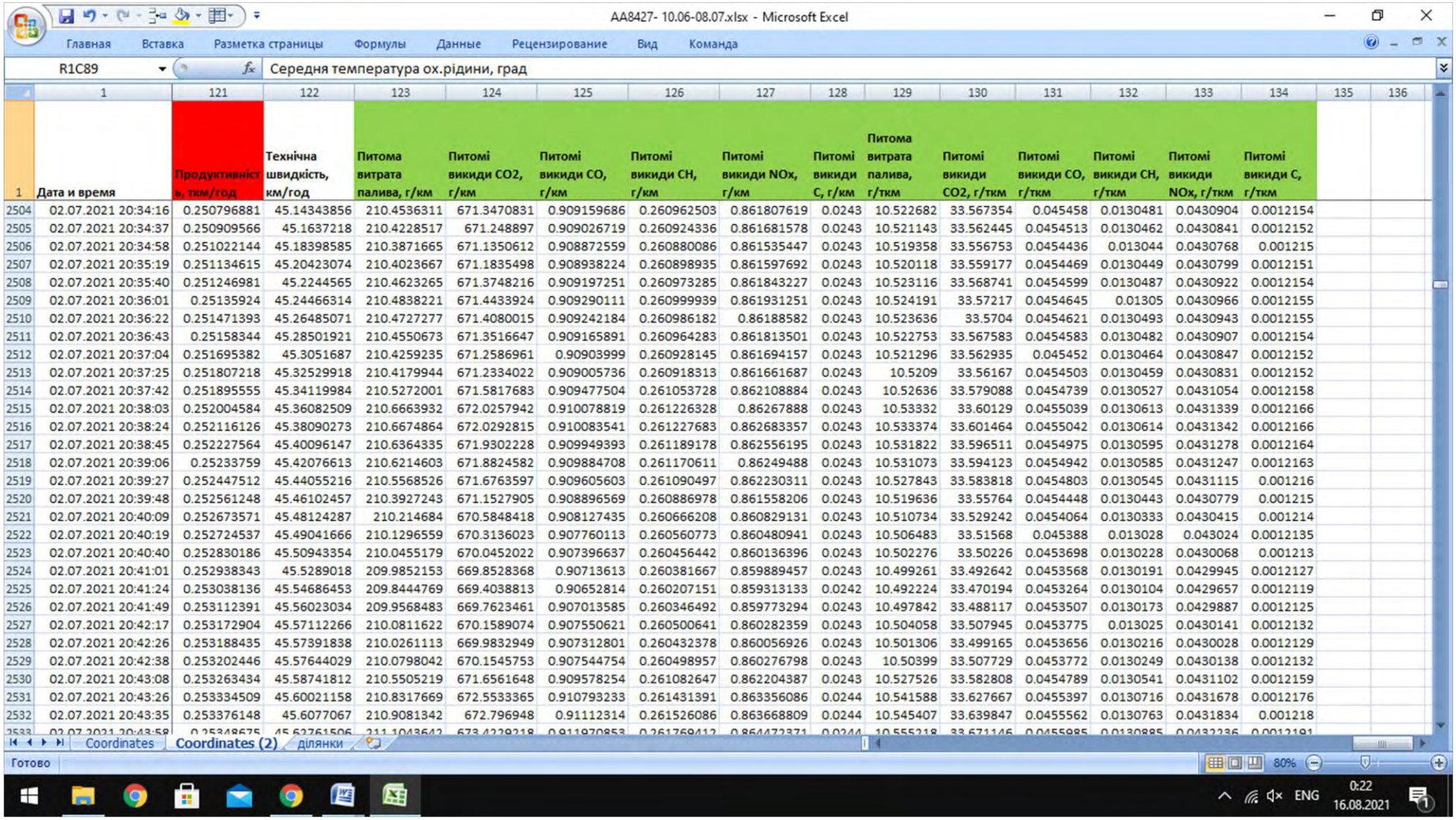
	1	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	
1	Дата и время	Транспортна робота, ткм	Годинні викиди CO2, кг/год	Годинні викиди CO, кг/год	Годинні викиди CH, кг/год	Годинні викиди NOx, кг/год	Годинні викиди C, кг/год	Сумарна витрата палива, г	Сумарні викиди CO2, г	Сумарні викиди CO, г	Сумарні викиди CH, г	Сумарні викиди NOx, г	Сумарні викиди C, г	Продуктивність, ткм/год	Технічна швидкість, км/год	Питома витрата палива, г/км	Питомі викиди CO2, г/км	Пи ви г/к
2504	02.07.2021 20:34:16	11 122.84	56	0.0759348	0.021796	0.07198	0.0020302	117042.12	373364.4	505.622	145.1322	479.2875	13.5184	0.250796881	45.14343856	210.4536311	671.3470831	0
2505	02.07.2021 20:34:37	11 133.11	43	0.05870016	0.016849	0.055643	0.0015694	117133.02	373654.3	506.0146	145.2449	479.6597	13.5289	0.250909566	45.1637218	210.4228517	671.248897	0
2506	02.07.2021 20:34:58	11 143.37	53	0.07183944	0.020621	0.068098	0.0019207	117221.15	373935.5	506.3954	145.3542	480.0206	13.539	0.251022144	45.18398585	210.3871665	671.1350612	0
2507	02.07.2021 20:35:19	11 153.64	74	0.1006776	0.028898	0.095434	0.0026917	117337.63	374307	506.8986	145.4987	480.4976	13.5525	0.251134615	45.20423074	210.4023667	671.1835498	0
2508	02.07.2021 20:35:40	11 163.91	80	0.10886832	0.031249	0.103198	0.0029107	117479.11	374758.3	507.5097	145.6741	481.0769	13.5688	0.251246981	45.2244565	210.4623265	671.3748216	0
2509	02.07.2021 20:36:01	11 174.17	51	0.06893856	0.019788	0.065348	0.0018431	117599.15	375141.3	508.0283	145.8229	481.5685	13.5827	0.25135924	45.24466314	210.4838221	671.4433924	0
2510	02.07.2021 20:36:22	11 184.44	60	0.0819072	0.02351	0.077641	0.0021899	117701	375466.2	508.4683	145.9492	481.9856	13.5945	0.251471393	45.26485071	210.4727277	671.4080015	0
2511	02.07.2021 20:36:43	11 194.71	47	0.06347808	0.018221	0.060172	0.0016972	117799.15	375779.3	508.8923	146.071	482.3875	13.6058	0.25158344	45.28501921	210.4550673	671.3516647	0
2512	02.07.2021 20:37:04	11 204.97	53	0.07235136	0.020768	0.068583	0.0019344	117890.86	376071.8	509.2885	146.1847	482.7631	13.6164	0.251695382	45.3051687	210.4259235	671.2586961	
2513	02.07.2021 20:37:25	11 215.24	60	0.081054	0.023266	0.076832	0.0021671	117994.43	376402.2	509.736	146.3131	483.1872	13.6284	0.251807218	45.32529918	210.4179944	671.2334022	0
2514	02.07.2021 20:37:42	11 223.46	140	0.18923976	0.054319	0.179384	0.0050595	118142.16	376873.5	510.3741	146.4963	483.7922	13.6454	0.251895555	45.34119984	210.5272001	671.5817683	0
2515	02.07.2021 20:38:03	11 233.61	63	0.08480808	0.024343	0.080391	0.0022674	118327.19	377463.7	511.1735	146.7257	484.5498	13.6668	0.252004584	45.36082509	210.6663932	672.0257942	0
2516	02.07.2021 20:38:24	11 243.87	56	0.07627608	0.021894	0.072303	0.0020393	118435.94	377810.7	511.6433	146.8606	484.9952	13.6794	0.252116126	45.38090273	210.6674864	672.0292815	0
2517	02.07.2021 20:38:45	11 254.14	43	0.0580176	0.016653	0.054996	0.0015512	118526.61	378099.9	512.035	146.973	485.3665	13.6898	0.252227564	45.40096147	210.6364335	671.9302228	0
2518	02.07.2021 20:39:06	11 264.35	66	0.0887328	0.02547	0.084111	0.0023724	118625.69	378416	512.463	147.0959	485.7722	13.7013	0.25233759	45.42076613	210.6214603	671.8824582	0
2519	02.07.2021 20:39:27	11 274.56	12	0.01655208	0.004751	0.01569	0.0004425	118696.78	378642.7	512.7701	147.184	486.0633	13.7095	0.252447512	45.44055216	210.5568526	671.6763597	0
2520	02.07.2021 20:39:48	11 284.94	6	0.00819072	0.002351	0.007764	0.000219	118713.48	378696	512.8422	147.2047	486.1317	13.7114	0.252561248	45.46102457	210.3927243	671.1527905	0
2521	02.07.2021 20:40:09	11 295.27	3	0.00375408	0.001078	0.003559	0.0001004	118721.55	378721.7	512.8771	147.2147	486.1647	13.7123	0.252673571	45.48124287	210.214684	670.5848418	0
2522	02.07.2021 20:40:19	11 300.07	3	0.00392472	0.001127	0.00372	0.0001049	118724.01	378729.6	512.8877	147.2178	486.1748	13.7126	0.252724537	45.49041666	210.1296559	670.3136023	0
2523	02.07.2021 20:40:40	11 310.11	60	0.08173656	0.023461	0.077479	0.0021853	118781.85	378914.1	513.1376	147.2895	486.4117	13.7193	0.252830186	45.50943354	210.0455179	670.0452022	0
2524	02.07.2021 20:41:01	11 320.26	19	0.025596	0.007347	0.024263	0.0006843	118854.32	379145.3	513.4506	147.3794	486.7084	13.7277	0.252938343	45.5289018	209.9852153	669.8528368	
2525	02.07.2021 20:41:24	11 330.54	9	0.01262736	0.003625	0.01197	0.0003376	118882.58	379235.4	513.5727	147.4144	486.8242	13.7309	0.253038136	45.54686453	209.8444769	669.4038813	
2526	02.07.2021 20:41:49	11 340.19	142	0.19265256	0.055298	0.182619	0.0051508	119047.57	379761.8	514.2855	147.619	487.4998	13.75	0.253112391	45.56023034	209.9568483	669.7623461	0
2527	02.07.2021 20:42:17	11 349.99	0	0	0	0	0	119221	380315	515.0347	147.834	488.21	13.77	0.253172904	45.57112266	210.0811622	670.1589074	0
2528	02.07.2021 20:42:26	11 352.97	0	0	0	0	0	119221	380315	515.0347	147.834	488.21	13.77	0.253188435	45.57391838	210.0261113	669.9832949	0
2529	02.07.2021 20:42:38	11 356.64	132	0.17883072	0.051331	0.169517	0.0047812	119289.99	380535.1	515.3328	147.9196	488.4925	13.778	0.253202446	45.57644029	210.0798042	670.1545753	0
2530	02.07.2021 20:43:08	11 366.97	156	0.21108168	0.060588	0.200088	0.0056435	119666.07	381734.8	516.9574	148.3859	490.0325	13.8214	0.253263434	45.58741812	210.5505219	671.6561648	0
2531	02.07.2021 20:43:26	11 374.72	152	0.20630376	0.059217	0.195559	0.0055158	119907.61	382505.3	518.0009	148.6854	491.0217	13.8493	0.253334509	45.60021158	210.8317669	672.5533365	0
2532	02.07.2021 20:43:35	11 378.87	70	0.09504648	0.027282	0.090096	0.0025412	119994.81	382783.4	518.3776	148.7936	491.3787	13.8594	0.253376148	45.6077067	210.9081342	672.796948	
2533	02.07.2021 20:43:58	11 389.67	155	0.21005784	0.060294	0.199117	0.0056161	120220.42	383503.1	519.3522	149.0733	492.3026	13.8855	0.25348675	45.62761506	211.1043642	673.4229218	0

Coordinates | Coordinates (2) | ділянки

Готово 80%

ENG 0:22 16.08.2021

Продовження Додатку В



AA8427- 10.06-08.07.xlsx - Microsoft Excel

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Команда

R1C89 Середня температура ох.рідини, град

	1	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
1	Дата и время	Продуктивність, ткм/год	Технічна швидкість, км/год	Питома витрата палива, г/км	Питомі викиди CO2, г/км	Питомі викиди CO, г/км	Питомі викиди CH, г/км	Питомі викиди NOx, г/км	Питомі викиди C, г/км	Питома витрата палива, г/ткм	Питомі викиди CO2, г/ткм	Питомі викиди CO, г/ткм	Питомі викиди CH, г/ткм	Питомі викиди NOx, г/ткм	Питомі викиди C, г/ткм		
2504	02.07.2021 20:34:16	0.250796881	45.14343856	210.4536311	671.3470831	0.909159686	0.260962503	0.861807619	0.0243	10.522682	33.567354	0.045458	0.0130481	0.0430904	0.0012154		
2505	02.07.2021 20:34:37	0.250909566	45.1637218	210.4228517	671.248897	0.909026719	0.260924336	0.861681578	0.0243	10.521143	33.562445	0.0454513	0.0130462	0.0430841	0.0012152		
2506	02.07.2021 20:34:58	0.251022144	45.18398585	210.3871665	671.1350612	0.908872559	0.260880086	0.861535447	0.0243	10.519358	33.556753	0.0454436	0.013044	0.0430768	0.001215		
2507	02.07.2021 20:35:19	0.251134615	45.20423074	210.4023667	671.1835498	0.908938224	0.260898935	0.861597692	0.0243	10.520118	33.559177	0.0454469	0.0130449	0.0430799	0.0012151		
2508	02.07.2021 20:35:40	0.251246981	45.2244565	210.4623265	671.3748216	0.909197251	0.260973285	0.861843227	0.0243	10.523116	33.568741	0.0454599	0.0130487	0.0430922	0.0012154		
2509	02.07.2021 20:36:01	0.25135924	45.24466314	210.4838221	671.4433924	0.909290111	0.260999939	0.861931251	0.0243	10.524191	33.57217	0.0454645	0.01305	0.0430966	0.0012155		
2510	02.07.2021 20:36:22	0.251471393	45.26485071	210.4727277	671.4080015	0.909242184	0.260986182	0.86188582	0.0243	10.523636	33.5704	0.0454621	0.0130493	0.0430943	0.0012155		
2511	02.07.2021 20:36:43	0.25158344	45.28501921	210.4550673	671.3516647	0.909165891	0.260964283	0.861813501	0.0243	10.522753	33.567583	0.0454583	0.0130482	0.0430907	0.0012154		
2512	02.07.2021 20:37:04	0.251695382	45.3051687	210.4259235	671.2586961	0.90903999	0.260928145	0.861694157	0.0243	10.521296	33.562935	0.045452	0.0130464	0.0430847	0.0012152		
2513	02.07.2021 20:37:25	0.251807218	45.32529918	210.4179944	671.2334022	0.909005736	0.260918313	0.861661687	0.0243	10.5209	33.56167	0.0454503	0.0130459	0.0430831	0.0012152		
2514	02.07.2021 20:37:42	0.251895555	45.34119984	210.5272001	671.5817683	0.909477504	0.261053728	0.862108884	0.0243	10.52636	33.579088	0.0454739	0.0130527	0.0431054	0.0012158		
2515	02.07.2021 20:38:03	0.252004584	45.36082509	210.6663932	672.0257942	0.910078819	0.261226328	0.86267888	0.0243	10.53332	33.60129	0.0455039	0.0130613	0.0431339	0.0012166		
2516	02.07.2021 20:38:24	0.252116126	45.38090273	210.6674864	672.0292815	0.910083541	0.261227683	0.862683357	0.0243	10.533374	33.601464	0.0455042	0.0130614	0.0431342	0.0012166		
2517	02.07.2021 20:38:45	0.252227564	45.40096147	210.6364335	671.9302228	0.909949393	0.261189178	0.862556195	0.0243	10.531822	33.596511	0.0454975	0.0130595	0.0431278	0.0012164		
2518	02.07.2021 20:39:06	0.25233759	45.42076613	210.6214603	671.8824582	0.909884708	0.261170611	0.86249488	0.0243	10.531073	33.594123	0.0454942	0.0130585	0.0431247	0.0012163		
2519	02.07.2021 20:39:27	0.252447512	45.44055216	210.5568526	671.6763597	0.909605603	0.261090497	0.862230311	0.0243	10.527843	33.583818	0.0454803	0.0130545	0.0431115	0.001216		
2520	02.07.2021 20:39:48	0.252561248	45.46102457	210.3927243	671.1527905	0.908896569	0.260886978	0.861558206	0.0243	10.519636	33.55764	0.0454448	0.0130443	0.0430779	0.001215		
2521	02.07.2021 20:40:09	0.252673571	45.48124287	210.214684	670.5848418	0.908127435	0.260666208	0.860829131	0.0243	10.510734	33.529242	0.0454064	0.0130333	0.0430415	0.001214		
2522	02.07.2021 20:40:19	0.252724537	45.49041666	210.1296559	670.3136023	0.907760113	0.260560773	0.860480941	0.0243	10.506483	33.51568	0.045388	0.013028	0.043024	0.0012135		
2523	02.07.2021 20:40:40	0.252830186	45.50943354	210.0455179	670.0452022	0.907396637	0.260456442	0.860136396	0.0243	10.502276	33.50226	0.0453698	0.0130228	0.0430068	0.001213		
2524	02.07.2021 20:41:01	0.252938343	45.5289018	209.9852153	669.8528368	0.90713613	0.260381667	0.859889457	0.0243	10.499261	33.492642	0.0453568	0.0130191	0.0429945	0.0012127		
2525	02.07.2021 20:41:24	0.253038136	45.54686453	209.8444769	669.4038813	0.90652814	0.260207151	0.859313133	0.0242	10.492224	33.470194	0.0453264	0.0130104	0.0429657	0.0012119		
2526	02.07.2021 20:41:49	0.253112391	45.56023034	209.9568483	669.7623461	0.907013585	0.260346492	0.859773294	0.0243	10.497842	33.488117	0.0453507	0.0130173	0.0429887	0.0012125		
2527	02.07.2021 20:42:17	0.253172904	45.57112266	210.0811622	670.1589074	0.907550621	0.260500641	0.860282359	0.0243	10.504058	33.507945	0.0453775	0.013025	0.0430141	0.0012132		
2528	02.07.2021 20:42:26	0.253188435	45.57391838	210.0261113	669.9832949	0.907312801	0.260432378	0.860056926	0.0243	10.501306	33.499165	0.0453656	0.0130216	0.0430028	0.0012129		
2529	02.07.2021 20:42:38	0.253202446	45.57644029	210.0798042	670.1545753	0.907544754	0.260498957	0.860276798	0.0243	10.50399	33.507729	0.0453772	0.0130249	0.0430138	0.0012132		
2530	02.07.2021 20:43:08	0.253263434	45.58741812	210.5505219	671.6561648	0.909578254	0.261082647	0.862204387	0.0243	10.527526	33.582808	0.0454789	0.0130541	0.0431102	0.0012159		
2531	02.07.2021 20:43:26	0.253334509	45.60021158	210.8317669	672.5533365	0.910793233	0.261431391	0.863356086	0.0244	10.541588	33.627667	0.0455397	0.0130716	0.0431678	0.0012176		
2532	02.07.2021 20:43:35	0.253376148	45.6077067	210.9081342	672.796948	0.91112314	0.261526086	0.863668809	0.0244	10.545407	33.639847	0.0455562	0.0130763	0.0431834	0.001218		
2533	02.07.2021 20:43:58	0.25348675	45.62761506	211.1043642	673.4229218	0.911970853	0.261769412	0.864472371	0.0244	10.555218	33.671146	0.0455985	0.0130885	0.0432236	0.0012181		

Coordinates | Coordinates (2) | ділянки

Готово 80%

ENG 0:22 16.08.2021

Додаток Г

Комп’ютерна програма розрахунку параметрів руху КТЗ на основі даних бортової системи моніторингу (моделювання показників базового КТЗ)

```
            REAL ND,P0,T0,L0,PI,GV,IC,GE,GC,GT,HN,MK,MI,FIDR,
     *CO,CH,NOX,CO1,CH1,NOX1,GCO,GCH,GNOX,GCO1,GCH1,GNOX1,ECO,ECH,ENOX,
     *ma,psi,ja,ui,u0,cx,fa,va,rd,etatr,me,u1,u2,u3,u4,u5,ta,dta,jd,
     *mkol,dva,nk,nz,gcor,gchr,gnoxr,gtr,vak,vfidr,mz,vmz,mzmax,ndk,
     *fidrmin,nuw,lamw,mm,mta,dfidr03,gco2r,fidr1,micorr
           real apk1,apk2,apk3,apk4,apk5,apk6,apk7,apk8,apk9,apk10,
     *apk11,apk12,apk13,apk14,apk15,apk16,apk17,apk18,apk19,apk20,apk21
     real agv1,agv2,agv3,agv4,agv5,agv6,agv7,agv8,agv9,agv10
     real ami1,ami2,ami3,ami4,ami5,ami6,ami7,ami8,ami9,ami10
     real amm1,amm2,amm3,amm4,amm5,amm6,amm7,amm8,amm9,amm10,
     *amm11,amm12,amm13,amm14,amm15,amm16,amm17,amm18,amm19,amm20
     real etan,pw,etag,vob,mw,cw
     real aqc1,aqc2,aqc3,aqc4,aqc5,aqc6,aqc7,aqc8,aqc9,aqc10
     real lta,tta,row,dkta
     real aco1,aco2,aco3,aco4,aco5,aco6,aco7,aco8,aco9,aco10
     real ach1,ach2,ach3,ach4,ach5,ach6,ach7,ach8,ach9,ach10
     real ano1,ano2,ano3,ano4,ano5,ano6,ano7,ano8,ano9,ano10
     real aco21,aco22,aco23,aco24,aco25,
     *aco26,aco27,aco28,aco29,aco210
     real atvg1,atvg2,atvg3,atvg4,atvg5,atvg6
     real as1,bs1,av1,bv1,as2,bs2,av2,bv2
     real sa,ges,gicos,gichs,ginoxs,gico2s,dtn,tn,mk1,ijk,imk03,g
     real alf,tw,nt,txx,pk,vr,nta,qc,qt,prand,Rein,Nusse,alfta,fta
     real qta,dte,co2,tvg,mcvg,dtk,etvg,CO21,gco2,gco21,gico,gich
     real ginox,gico2,tinj,tw1,va1,gets,gicots,gichts,ginoxts,gico2ts
     real anta1,anta2,anta3,anta4,anta5,anta6,anta7,anta8,anta9,
     * anta10,anta11,anta12,anta13,anta14,anta15,gv1,tatn,nt1,nd1
     real vasr,gcosr,gchsr,gnoxsr,gco2sr,gtsr,iktz,iktzsr,vamax,
     *gesmin,gicosmin,gichsmin,ginoxsmin,gico2smin,alfad,uiu0
     integer j2,j3,j4,j5,jj2,jj3,jj4,jj5,jxx

      open(10,file='r.txt',status='unknown')
     OPEN (9,FILE='N1.DAT',STATUS='unknown')
     open(7,FILE='temp.txt',STATUS='unknown')
     open(8,FILE='temp1.txt',STATUS='unknown')
!     open (6,file='vehicle_KIA_pet_data.txt',status='unknown')
!     open (6,file='vehicle_KIA_lpg_data.txt',status='unknown')
     open (6,file='vehicle_VAZ_pet_data.txt',status='unknown')
!     open (6,file='vehicle_VAZ_E40_data.txt',status='unknown')

         DATA PI/3.14159/,g/9.81/
         DATA P0/101000/,T0/293/
         DATA vfidr/6/,vmz/100/,mzmax/150/
         DATA ALF/1.0/

!     read(10,*) a
     read(6,*) ma,psi,u0,cx,fa,rd,etatr,u1,u2,u3,u4,u5,jd,mkol,nk,ic
     read(6,*) L0,HN,fidrmin
```

```
      read(6,*) apk1,apk2,apk3,apk4,apk5,apk6,apk7,apk8,apk9,apk10,
     *apk11,apk12,apk13,apk14,apk15,apk16,apk17,apk18,apk19,apk20,apk21
      read(6,*) agv1,agv2,agv3,agv4,agv5,agv6,agv7,agv8,agv9,agv10
      read(6,*) ami1,ami2,ami3,ami4,ami5,ami6,ami7,ami8,ami9,ami10
      read(6,*) amm1,amm2,amm3,amm4,amm5,amm6,amm7,amm8,amm9,amm10,
     *amm11,amm12,amm13,amm14,amm15,amm16,amm17,amm18,amm19,amm20
      read(6,*) etan,pw,etag,vob,mw,cw
      read(6,*) aqc1,aqc2,aqc3,aqc4,aqc5,aqc6,aqc7,aqc8,aqc9,aqc10
      read(6,*) lta,tta,row,nuw,lamw,dkta
      read(6,*) aco1,aco2,aco3,aco4,aco5,aco6,aco7,aco8,aco9,aco10
      read(6,*) ach1,ach2,ach3,ach4,ach5,ach6,ach7,ach8,ach9,ach10
      read(6,*) ano1,ano2,ano3,ano4,ano5,ano6,ano7,ano8,ano9,ano10
      read(6,*) aco21,aco22,aco23,aco24,aco25,
     *aco26,aco27,aco28,aco29,aco210
      read(6,*) atvg1,atvg2,atvg3,atvg4,atvg5,atvg6
      read(6,*) as1,bs1,av1,bv1,as2,bs2,av2,bv2
      read(6,*) anta1,anta2,anta3,anta4,anta5,anta6,anta7,anta8,anta9,
     * anta10,anta11,anta12,anta13,anta14,anta15
        fidr=fidrmin
       hn=hn/1e6   !МДж
6      write (9,1451)
1451  FORMAT(/2x,'nd',5X,'fidr',3X,'alf', 5X, 'MK', 7X, 'MI', 8X, 'MM',
     * 9X, 'GE', 8X, 'GT',6X,
     * 'GV', 6X, 'CO', 6X, 'CH', 9X, 'NOX', 5X,'CO2',6x,
     *'ECO', 3X, 'ECH', 3X, 'ENOX', 7x, 'tau',
     *7x,'Va',5x,'gCO',6x,'gCH',7x,'gNOx',9x,'gCO2',6x,'gpal',
     *4x,'TW',6x,'Tcat',6x,'nt',6x,'pk',
     * 9x,'sa',6x,'gico',6x,'gich',6x,'ginox',5x,'gico2',
     *6x, 'ges',6x,'gicos',5x,'gichs',4x,'ginoxs',4x,'gico2s',7x,
     * 'ja',8x,'vasr',3x,'gcosr',6x,'gchsr',4x,'gnoxsr',
     *4x,'gco2sr',5x,'gtsr',7x,'iktz',5x,'iktzsr',5x,'micorr'/)
      ta=0
      nz=0
      ja=0
      gcor=0
      gchr=0
      gnoxr=0
      gco2r=0
      gtr=0
      va=0
      mz=0
      tw=t0
!     nt=0
      tn=t0
       sa=0
       ijk=0
       imk03=0
       dfidr03=1
145   me=(ma*g*psi+cx*(p0/(t0*287))*fa*
     *(va/3.6)**2/2)*rd/(ui*u0*etatr)
      read(7,*) nd, gv1, ta1, tw1, tinj, va1, fidr1, alfad, uiu0
      dva=(va1-va)/3.6
```

```
      dte=(tw1-tw)/(ta1-ta)
7     tw=tw1
      dta=ta1-ta
      alf=0.0026*tw+0.158
        if(alf.gt.1.0)then
        alf=1.0
      endif

10      pk=apk1*nd*fidr**4+apk2*fidr**5+apk3*fidr**4+apk4*fidr**3+
     *apk5*nd*fidr**3+apk6*nd**2*fidr**3+apk7*fidr**2+apk8*nd*fidr**2+
     *apk9*nd**2*fidr**2+apk10*nd**3*fidr**2+apk11*fidr+apk12*nd*fidr+
    *apk13*nd**2*fidr+apk14*nd**3*fidr+apk15*nd**4*fidr+apk16+apk17*nd+
     *apk18*nd**2+apk19*nd**3+apk20*nd**4+apk21*nd**5
      if(pk.lt.10000)pk=10000
      GV=agv1*nd*pk**2+agv2*pk**3+agv3*pk**2+agv4*pk+agv5*nd*pk+
     *agv6*nd**2*pk+agv7+agv8*nd+agv9*nd**2+agv10*nd**3

      GT=GV*HN/alf/l0   !МДж/год
      GC=gv*1e6/(30*ALF*L0*ic*nd)
      if(tinj.eq.0)goto 8
      if((fidr==fidrmin).and.(nd.gt.1500)) then
8       gc=0
       gt=0
       goto 9
       endif
9      MI=ami1*nd*gc**2+ami2*gc**3+ami3*gc**2+ami4*gc+ami5*nd*gc+
     *  ami6*nd**2*gc
     *+ami7+ami8*nd+ami9*nd**2+ami10*nd**3

       if(mi.lt.0)mi=0

      nt=-0.0151*pk+706
      if(pk.gt.40000)nt=0
      if(mk1.lt.1)nt=3700
      if(tw.ge.367.9)nt=0
      nt=0
      vr=vob*pi*nt/30
      nta=vr*pw*1e3/etan/etag
      mta=nta*9550/nd

      MM=(amm1*nd*tw**2+amm2*pk*tw**2+amm3*tw**3+amm4*tw**2+
     * amm5*nd*pk*tw+
*amm6*pk**2*tw+amm7*pk*tw+amm8*tw+amm9*nd*tw+amm10*nd**2*tw+
*amm11*nd*pk**2+amm12*pk**3+amm13*pk**2+amm14*pk+amm15*nd*pk+
 *amm16*nd**2*pk+amm17+amm18*nd+amm19*nd**2+amm20*nd**3)+mta
      if(fidr1.eq.0.and.tinj.ne.0)then
      micorr=mi-mm
      else
         micorr=0
         endif
      mm=mm+micorr
      MK=mi-mm
```

```
      if(ijk.eq.1) goto 2
      if(abs(gv-gv1).gt.0.3) then
       if((gv-gv1).lt.0) then
        if(fidr.gt.90) then
         fidr=90
         ijk=1
         goto 10
        else
         if(imk03.eq.2)then
          dfidr03=dfidr03/2
         endif
         fidr=fidr+dfidr03
         imk03=1
        endif
       else
        if(fidr.lt.0) then
         fidr=0
         ijk=1
         goto 10
        else
         if(imk03.eq.1)then
          dfidr03=dfidr03/2
         endif
         fidr=fidr-dfidr03
         imk03=2
        endif
       endif
       if(dfidr03.eq.0)goto 2
       goto 10
      else
      endif
      goto 2

2     qc=aqc1*nd*pk**2+aqc2*pk**3+aqc3*pk**2+aqc4*pk+aqc5*nd*pk
     *+aqc6*nd**2*pk+aqc7+aqc8*nd+aqc9*nd**2+aqc10*nd**3
      qt=qc*nd*ic/120
      Prand=row*nuw*cw/lamw
      Rein=4*vr/(pi*dkta*nuw)
      if(rein.le.2300)then
      Nusse=3.66
      else
        if(rein.le.5000)then
        Nusse=prand**0.4*(-6.55+0.0046*rein)
        else
          if(rein.le.10000)then
          Nusse=prand**0.4*(-3+0.0039*rein)
          else
            Nusse=prand**0.4*0.023*rein**0.8
          endif
        endif
      endif
```

```
if(rein.eq.0)nusse=0
alfta=nusse*lamw/dkta
fta=pi*dkta**2*lta/4
qta=alfta*fta*(tta-tw)

CO=(aco1*nd*pk**2+aco2*pk**3+aco3*pk**2+aco4*pk+aco5*nd*pk
*+aco6*nd**2*pk+aco7+aco8*nd+aco9*nd**2+aco10*nd**3)*(21-20*alf)
     CH=(ach1*nd*pk**2+ach2*pk**3+ach3*pk**2+ach4*pk+ach5*nd*pk
*+ach6*nd**2*pk+ach7+ach8*nd+ach9*nd**2+ach10*nd**3)*(5-4*alf)
NOX=(ano1*nd*pk**2+ano2*pk**3+ano3*pk**2+ano4*pk+ano5*nd*pk+
*ano6*nd**2*pk+ano7+ano8*nd+ano9*nd**2+ano10*nd**3)*(3.85*alf-2.85)
CO2=aco21*nd*pk**2+aco22*pk**3+aco23*pk**2+aco24*pk+aco25*nd*pk
*+aco26*nd**2*pk+aco27+aco28*nd+aco29*nd**2+aco210*nd**3
IF(CO.LT.0) CO=0.01
     IF(CH.LT.0) CH=1
     IF(NOX.LT.0) NOX=1
IF(CO2.LT.0) CO2=0.01
if(gc.eq.0)then
   co=0
   ch=0
   nox=0
   co2=0
endif

tvg=atvg1*nd*pk+atvg2*pk**2+atvg3*pk+atvg4+atvg5*nd+atvg6*nd**2
IF(ALF.LT.1)then
MCvg=(18.93+4.19*ALF)+(3.6+2.51*ALF)/1000*(tvg-273)
else
     MCvg=(21.03+2.14/ALF)+(4.27+1.84/ALF)/1000*(Tvg-273)
endif
dtn=((gv+gt/hn)*120/(nd*3600)*(1.3/29*mcvg)*(tvg-tn))/
*(1.0*0.75)
 if(tn.lt.350) then
etvg=0
else
etvg=(1-EXP(-30*((tn-350)/200)**4))
endif
   if(alf.lt.0.8)then
      eco=1*etvg
      ech=1*etvg
   else
      if(alf.gt.1.4)then
         eco=1*etvg
         ech=1*etvg
      else
         ECO=(15383-59573*ALF+84945*ALF**2-52692*ALF**3+
*12017*ALF**4)*etvg
         ECH=(-1924+5275*ALF-4620*ALF**2+1344*ALF**3)*etvg
      endif
   endif
    if(alf.le.1.001) then
 enox=95*etvg
```

```
else

  if(alf.gt.1.005) then
   if(alf.gt.1.4)then
      enox=0*etvg
   else
      enox=5*etvg
   endif
  else
   enox=(-22500*alf+22617)*etvg
  endif

endif

CO1=CO-CO*ECO/100
CH1=CH-CH*ECH/100
NOX1=NOX-NOX*ENOX/100
CO21=co2+co-co1


if(alf.le.1) then
GCO=(CO)/100*28*as1*(bs1*GT/hn+GV)
    GCH=(CH)/1E6*86*as1*(bs1*GT/hn+GV)
GNOX=(NOX)/1E6*46*av1*(bv1*GT/hn+GV)
gco2=(CO2)/100*44*as1*(bs1*GT/hn+GV)
    GCO1=(CO1)/100*28*as1*(bs1*GT/hn+GV)
    GCH1=(CH1)/1E6*86*as1*(bs1*GT/hn+GV)
GNOX1=(NOX1)/1E6*46*av1*(bv1*GT/hn+GV)
gco21=(CO21)/100*44*as1*(bs1*GT/hn+GV)
    else
GCO=(CO)/100*28*as2*(bs2*GT/hn+GV)
    GCH=(CH)/1E6*86*as2*(bs2*GT/hn+GV)
GNOX=(NOX)/1E6*46*av2*(bv2*GT/hn+GV)
gco2=(CO2)/100*44*as2*(bs2*GT/hn+GV)
    GCO1=(CO1)/100*28*as2*(bs2*GT/hn+GV)
    GCH1=(CH1)/1E6*86*as2*(bs2*GT/hn+GV)
GNOX1=(NOX1)/1E6*46*av2*(bv2*GT/hn+GV)
gco21=(CO21)/100*44*as2*(bs2*GT/hn+GV)
endif

if(mk.ge.1)then
GE=GT*9550/mk/nd
gico=Gco1*9550*1e3/mk/nd
gich=Gch1*9550*1e3/mk/nd
ginox=Gnox1*9550*1e3/mk/nd
gico2=Gco21*9550*1e3/mk/nd
else
GE=GT*9550/mi/nd
gico=Gco1*9550*1e3/mi/nd
gich=Gch1*9550*1e3/mi/nd
ginox=Gnox1*9550*1e3/mi/nd
gico2=Gco21*9550*1e3/mi/nd
```

```
      endif

      ijk=0
      imk03=0
      dfidr03=1
      goto 11
11      tn=tn+dtn
      dtk=dtn/dta
      va=va+dva*3.6
      ta=ta+dta
152   gcor=gcor+gco1/3.6*dta
      gchr=gchr+gch1/3.6*dta
      gnoxr=gnoxr+gnox1/3.6*dta
      gco2r=gco2r+gco21/3.6*dta
      gtr=gtr+gt/3600*dta
      sa=sa+va/3600*dta
      vamax=50
      if(va.gt.0)then
         ges=gt/va
         gicos=gco1*1e3/va
         gichs=gch1*1e3/va
         ginoxs=gnox1*1e3/va
         gico2s=gco21*1e3/va
          gets=gt/va/ma
         gicots=gco1*1e3/va/ma
         gichts=gch1*1e3/va/ma
         ginoxts=gnox1*1e3/va/ma
         gico2ts=gco21*1e3/va/ma
         gesmin=1.68
         gicosmin=1.0
         gichsmin=0.1
         ginoxsmin=0.06
         gico2smin=120
         iktz=0.4*va/vamax+0.3*gesmin/ges+0.3*(0.1*gicosmin/gicos+
     *0.1*gichsmin/gichs+0.1*ginoxsmin/ginoxs+0.7*gico2smin/gico2s)
         if(va.gt.vamax)then
          iktz=0.4*vamax/va+0.3*gesmin/ges+0.3*(0.1*gicosmin/gicos+
     *0.1*gichsmin/gichs+0.1*ginoxsmin/ginoxs+0.7*gico2smin/gico2s)
            endif
      else
         ges=gt/3600
         gicos=gco1*1e3/3600
         gichs=gch1*1e3/3600
         ginoxs=gnox1*1e3/3600
         gico2s=gco21*1e3/3600
         gesmin=0.007
         gicosmin=0.0056
         gichsmin=2.78e-4
         ginoxsmin=7.22e-5
         gico2smin=0.434
         iktz=0.4*va/vamax+0.3*gesmin/ges+0.3*(0.1*gicosmin/gicos+
     *0.1*gichsmin/gichs+0.1*ginoxsmin/ginoxs+0.7*gico2smin/gico2s)
```

```
          if(va.gt.vamax)then
           iktz=0.4*vamax/va+0.3*gesmin/ges+0.3*(0.1*gicosmin/gicos+
     *0.1*gichsmin/gichs+0.1*ginoxsmin/ginoxs+0.7*gico2smin/gico2s)
             endif
        endif
        ja=dva/dta
        vasr=sa*3600/ta
        gcosr=gcor/sa
        gchsr=gchr/sa
        gnoxsr=gnoxr/sa
        gco2sr=gco2r/sa
        gtsr=gtr/sa
        gesmin=1.68
        gicosmin=1.0
        gichsmin=0.1
        ginoxsmin=0.06
        gico2smin=120
        iktzsr=0.4*vasr/vamax+0.3*gesmin/gtsr+0.3*(0.1*gicosmin/gcosr+
       *0.1*gichsmin/gchsr+0.1*ginoxsmin/gnoxsr+0.7*gico2smin/gco2sr)
        if(vasr.gt.vamax)then
        iktzsr=0.4*vamax/vasr+0.3*gesmin/gtsr+0.3*(0.1*gicosmin/gcosr+
       *0.1*gichsmin/gchsr+0.1*ginoxsmin/gnoxsr+0.7*gico2smin/gco2sr)
             endif
        goto 12
        if(tw.lt.368)then
        goto 145
        else
          if(nt1.eq.0) tatn=ta
        endif
        if(ta.lt.tatn)then
          goto 145
        endif
12      write (9,1448) nd, fidr, alf, MK, MI, MM,
       * GE, GT, GV, CO, CH, NOX, co2,
       * ECO, ECH, ENOX, ta, va,
       *gcor, gchr, gnoxr, gco2r, gtr,tw,tn,nt1,
       * pk,sa,gico,gich,ginox,gico2,
       * ges,gicos,gichs,ginoxs,gico2s,
       * ja,vasr,gcosr,gchsr,gnoxsr,gco2sr,gtsr,
       * iktz,iktzsr,micorr
 1448  FORMAT(F6.1, 2X, F5.1, 2X, F5.3, 2X, F7.3, 2X, F7.3, 3X, F6.3,
       *2X,F9.2,3X,F7.3,2X,F6.2,2X,F6.3, 2X, F7.1, 2X, F8.2, 3X, f6.3,2x,
       *F5.1, 2X, F4.1, 2X, F6.1, 4X, F6.2, 2x, f7.2,
       *2x,f6.2,2x,f8.4,2x,f8.4,4x,f9.4,2x,f7.3,3x,f6.2,2x,f6.1,2x,f6.1,
       *2x,f8.1,2x,f8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,
       * 2x,e8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,
       * 2x,f8.3,2x,f8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,2x,e8.3,
       *2x,f8.3,2x,f8.3,2x,f8.3 )
        print*,ta,nd,mk,nt1,gtr
        goto 145
        STOP
      END
```

Додаток Д
Комп’ютерна програма для визначення поточних передаточних чисел трансмісії КТЗ

```
real
fidr,nd,va,bit3,bit1,bit0,utr1,utr2,utr3,utr4,utr5,rd,utr,var,nd1,va1,fidr1,var0,var1,var2,var
3
open (1,file='data.txt',status='unknown')
open (2,file='rez.txt',status='unknown')
open (3,file='rez1.txt',status='unknown')
utr1=13.475016
utr2=7.2267
utr3=5.029042
utr4=3.487346
utr5=2.905504
rd=0.282
fidr1=0
nd1=0
va1=0
va11=0
i=0
10  read(1,*) fidr,nd,va,bit3,bit1,bit0

if((fidr.eq.1).and.(nd.eq.1).and.(va.eq.1).and.(bit3.eq.1).and.(bit1.eq.1).and.(bit0.eq.1))the
n
        write(2,*) 1,1
        goto 14
        endif
if((va.eq.0).or.(bit0.eq.1))then
    utr=0  !холостий хід
    var=0
    goto 11
    else
        if(bit1.eq.1)then
           utr=0  !холостий хід
           var=0
           goto 11
        else
!          if((nd*3.14*rd/utr1/30.gt.va/3.6).and.(va-va1.ge.0).and.((nd-
nd1.lt.0).or.(fidr1.eq.0)))then
          if((nd*3.14*rd/utr1/30)-(va/3.6).gt.0.35)then
              utr=utr1 !буксування зчеплення
              var=1
              goto 11
          else
              if((nd*3.14*rd/utr1/30).ge.(va/3.6))then
                  utr=utr1
                  var=0
                  else
              if((nd*3.14*rd/utr1/30)-(va/3.6).lt.-0.35)then
                  if(bit3.eq.1)then
                      utr=utr1
                      var=-1
                      endif
                  !if((nd*3.14*rd/utr2/30.gt.va/3.6).and.(va-va1.ge.0).and.((nd-
nd1.lt.0).or.(fidr1.eq.0)))then
                  if((nd*3.14*rd/utr2/30)-(va/3.6).gt.0.6)then
                      utr=utr2 !буксування зчеплення
                      var=1
                      goto 11
                  else
                      if((nd*3.14*rd/utr2/30).ge.(va/3.6))then
```

```
                        utr=utr2
                        var=0
                        goto 11
                        else
                        if((nd*3.14*rd/utr2/30)-(va/3.6).lt.-0.6)then
                            if(bit3.eq.1)then
                            utr=utr2
                            var=-1
                            endif
                            !if((nd*3.14*rd/utr3/30.gt.va/3.6).and.(va-va1.ge.0).and.((nd-
nd1.lt.0).or.(fidr1.eq.0)))then
                            if((nd*3.14*rd/utr3/30)-(va/3.6).gt.0.8)then
                              utr=utr3 !буксування зчеплення
                              var=1
                              goto 11
                            else
                                if((nd*3.14*rd/utr3/30).ge.(va/3.6))then
                                utr=utr3
                                var=0
                                goto 11
                                else
                                if((nd*3.14*rd/utr3/30)-(va/3.6).lt.-0.8)then
                                    if(bit3.eq.1)then
                                    utr=utr3
                                    var=-1
                                    endif
                                    !if((nd*3.14*rd/utr4/30.gt.va/3.6).and.(va-
va1.ge.0).and.((nd-nd1.lt.0).or.(fidr1.eq.0)))then
                                  if((nd*3.14*rd/utr4/30)-(va/3.6).gt.1)then
                                    utr=utr4 !буксування зчеплення
                                    var=1
                                    goto 11
                                  else
                                    if((nd*3.14*rd/utr4/30).ge.(va/3.6))then
                                      utr=utr4
                                      var=0
                                      goto 11
                                    else
                                      if((nd*3.14*rd/utr4/30)-(va/3.6).lt.-1)then
                                          if(bit3.eq.1)then
                                          utr=utr4
                                          var=-1
                                          endif
                                          !if((nd*3.14*rd/utr5/30.gt.va/3.6).and.(va-
va1.ge.0).and.((nd-nd1.lt.0).or.(fidr1.eq.0)))then
                                        if((nd*3.14*rd/utr5/30)-(va/3.6).gt.1.2)then
                                          utr=utr5 !буксування зчеплення
                                          var=1
                                          goto 11
                                        else
                                          if((nd*3.14*rd/utr5/30).ge.(va/3.6))then
                                            utr=utr5
                                            var=0
                                            goto 11
                                          else
                                              if(bit3.eq.1)then
                                               utr=utr5
                                               var=-1
                                               endif
                                        !  utr=-1 !буксування зчеплення
                                         ! var=va/3.6
                                          !goto 11
                                            utr=utr5
                                          var=0
                                          goto 11
```

```
                                        endif
                                    endif
                                else
                                    utr=utr4
                                    var=0
                                    goto 11
                                endif
                              endif
                            endif
                        else
                            utr=utr3
                            var=0
                            goto 11
                        endif
                       endif
                    endif
                else
                    utr=utr2
                    var=0
                    goto 11
                endif
                endif
              endif
          else
              utr=utr1
              var=0
              goto 11
          endif
        endif
      endif
    endif
11  va11=va1
    nd1=nd
    va1=va
    fidr1=fidr
 !   if(abs(var-va/3.6).gt.1) var=va/3.6
    write(2,*) var,utr
goto 10
12  rewind(2)
    read(2,*) var0,utr
    write(3,*) var0
    read(2,*) var1,utr
    read(2,*) var2,utr
13  read(2,*) var3,utr
    if((var3.eq.1).and.(utr.eq.1))then
        write(3,*) var2
        goto 14
        endif
    var1=(2*var0+var3)/3
    var2=(var0+2*var3)/3
    if(i.eq.1)goto 15
    write(3,*) var1
    i=1
15    write(3,*) var2
    var0=var1
    var1=var2
    var2=var3
    goto 13
14    end
```

Додаток Е
Комп’ютерна програма для експорту даних про висоту над рівнем моря у поточному місцезнаходженні КТЗ

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.IO;
using System.Linq;
using System.Runtime.InteropServices.WindowsRuntime;
using Windows.Foundation;
using Windows.Foundation.Collections;
using Windows.UI.Xaml;
using Windows.UI.Xaml.Controls;
using Windows.UI.Xaml.Controls.Primitives;
using Windows.UI.Xaml.Data;
using Windows.UI.Xaml.Input;
using Windows.UI.Xaml.Media;
using Windows.UI.Xaml.Navigation;
using System.Text;
using System.Runtime.Serialization;
using System.ServiceModel;
using System.Threading.Tasks;
using System.Net;
using System.Net.Sockets;
using System.Threading;
using Windows.Networking;
using Windows.Networking.Sockets;
using System.Windows;
using System.Runtime.InteropServices;
using Windows.Storage.Streams;
using Windows.Security.Cryptography;
using Windows.Storage;
using Windows.Storage.Pickers;
using Windows.System.Display;
using Windows.Devices.Geolocation;
using Windows.System.Threading;
using Windows.UI.Core;
using Windows.ApplicationModel.Background;
using Windows.Devices.WiFi;
using Windows.ApplicationModel.ExtendedExecution;
using Windows.System;

namespace OBD_1
{
    public sealed partial class MainPage : Page
    {
        DisplayRequest _displayRequest = new DisplayRequest();
        StorageFolder localFolder = KnownFolders.PicturesLibrary;
        StreamWriter writerf1;
        Stream streamg;
        string filename_1 = "GEO.kml";
        int index = 0;
```

```
        string filename_2 = "time.txt";
        string coordinates = null;
        int coma1;
        int coma2;
        string filename_3 = "elevation.txt";
        Stream streame;
        StreamWriter writerf2;
        int pos1;
        int coma3=0;
        string elevation;
        int pos2;
        string filename_4 = "coordinates.txt";
        Stream streame1;
        StreamWriter writerfe2;
        int index1 = 0;
        string distance;
        string filename_5 = "distance.txt";
        Stream streame2;
        StreamWriter writerf3;
        string filename_6 = "roadres.txt";
        Stream streame3;
        StreamWriter writerf4;
        double alfa = 0;
        double h1;
        double h2;
        public MainPage()
        {
            this.InitializeComponent();

        }
        public async void Button_Click(object sender, RoutedEventArgs e)
        {
            MainTask();

        }
        public async void MainTask()
        {
            _displayRequest.RequestActive();

            StorageFolder localFolder = KnownFolders.PicturesLibrary;
            StorageFile newFile = await localFolder.GetFileAsync(filename_1);
            var stream1 = await newFile.OpenStreamForReadAsync();
            StreamReader readerf = new StreamReader(stream1);

            StorageFile newFile1 = await localFolder.CreateFileAsync(filename_2,
CreationCollisionOption.ReplaceExisting);
            streamg = await newFile1.OpenStreamForWriteAsync();
            writerf1 = new StreamWriter(streamg);
            StorageFile newFile2 = await localFolder.CreateFileAsync(filename_3,
CreationCollisionOption.ReplaceExisting);
            streame = await newFile2.OpenStreamForWriteAsync();
            writerf2 = new StreamWriter(streame);
```

```
        StorageFile newFile3 = await localFolder.CreateFileAsync(filename_4,
CreationCollisionOption.ReplaceExisting);
        streame1 = await newFile3.OpenStreamForWriteAsync();
        writerfe2 = new StreamWriter(streame1);
        NextTry:
        string text = await readerf.ReadLineAsync();
        if (text.Substring(0,6)== "</Fold")
        {
           index = 100;
           index1 = 1;
           goto End1;
        }
        if(text.Substring(0,6) == "<name>")
        {
           index++;
           goto Next;
        }
        else
        {
           goto NextTry;
        }
        Next:
        if (index <= 2)
        {
           goto NextTry;
        }
        string time = text.Substring(17, 2) + " " + text.Substring(20, 2) + " " + text.Substring(23, 2);
        await writerf1.WriteLineAsync(time);
        NextTry1:
        string text1 = await readerf.ReadLineAsync();
        if (text1.Substring(0, 6) == "<coord")
        {
           goto Next1;
        }
        else
        {
           goto NextTry1;
        }
        Next1:
        if (index == 3)
        {
           coma1 = text1.IndexOf(",");
           coma2 = text1.LastIndexOf(",");
           coordinates = coordinates + text1.Substring(coma1+1, coma2-coma1-1) + "," +
text1.Substring(13, coma1-13);
           await writerfe2.WriteLineAsync(text1.Substring(coma1 + 1, coma2 - coma1 - 1) + "," +
text1.Substring(13, coma1 - 13));
        }
        else
        {
           coma1 = text1.IndexOf(",");
```

```
            coma2 = text1.LastIndexOf(",");
            coordinates = coordinates + "|" + text1.Substring(coma1 + 1, coma2 - coma1 - 1) + "," +
text1.Substring(13, coma1 - 13);
            await writerfe2.WriteLineAsync(text1.Substring(coma1 + 1, coma2 - coma1 - 1) + "," +
text1.Substring(13, coma1 - 13));
         }
         End1:
         if (index == 100)
         {
            WebRequest                                    request                                    =
WebRequest.Create("https://maps.googleapis.com/maps/api/elevation/json?locations="+
coordinates+ "&key=AIzaSyCeoVsaLHstmd1QYxZtHGAzb_m0WlGQrms");
            request.Credentials = CredentialCache.DefaultCredentials;
            WebResponse response = await request.GetResponseAsync();
            Stream dataStream = response.GetResponseStream();
            StreamReader reader = new StreamReader(dataStream);
            string responseFromServer = reader.ReadToEnd();
            NextTry2:
            pos1 = responseFromServer.IndexOf("elevation",coma3);
            coma3 = responseFromServer.IndexOf(",", pos1);
            pos2 = responseFromServer.LastIndexOf("elevation");
            elevation = responseFromServer.Substring(pos1 + 13, coma3 - pos1 - 13);
            await writerf2.WriteLineAsync(elevation);
            if (pos1 == pos2)
            {
               coma3 = 0;
               await writerf2.FlushAsync();
               goto Next2;
            }
            else
            {
               goto NextTry2;
            }
            Next2:
            tbSettingText.Text = responseFromServer;
            dataStream.Dispose();
            index = 2;
            coordinates = null;
            if (index1 == 1)
            {
               goto End;
            }
            else
            {
               goto NextTry;
            }

         }
         else
         {
            goto NextTry;
         }
```

```
        End:

        await writerfe2.FlushAsync();
        await writerf2.FlushAsync();
        await writerf1.FlushAsync();
        stream1.Dispose();
        streamg.Dispose();
        streame.Dispose();

        StorageFile newFile4 = await localFolder.GetFileAsync(filename_4);
        var stream2 = await newFile4.OpenStreamForReadAsync();
        StreamReader readerfc = new StreamReader(stream2);

        StorageFile newFile5 = await localFolder.CreateFileAsync(filename_5,
CreationCollisionOption.ReplaceExisting);
        streame2 = await newFile5.OpenStreamForWriteAsync();
        writerf3 = new StreamWriter(streame2);

        StorageFile newFile6 = await localFolder.GetFileAsync(filename_3);
        var stream3 = await newFile6.OpenStreamForReadAsync();
        StreamReader readerfe = new StreamReader(stream3);

        StorageFile newFile7 = await localFolder.CreateFileAsync(filename_6,
CreationCollisionOption.ReplaceExisting);
        streame3 = await newFile7.OpenStreamForWriteAsync();
        writerf4 = new StreamWriter(streame3);

        distance = "0";
        await writerf3.WriteLineAsync(distance);
        string _alfa = "0";
        await writerf4.WriteLineAsync(_alfa);

        text = await readerfc.ReadLineAsync();
        elevation = await readerfe.ReadLineAsync();
        NextTry3:
        string text_ = await readerfc.ReadLineAsync();
        string elevation_ = await readerfe.ReadLineAsync();
        if (text_ == null)
        {
           await writerf3.FlushAsync();
           await writerf4.FlushAsync();
           goto Next3;
        }
        double fi1= Math.PI * double.Parse(text.Substring(0,
text.IndexOf("."))+","+text.Substring(text.IndexOf(".")+1, text.IndexOf(",")- text.IndexOf(".")-1))
/ 180.0;
        double lam1 = Math.PI * double.Parse(text.Substring(text.IndexOf(",")+1,
text.LastIndexOf(".")- text.IndexOf(",") - 1) + "," + text.Substring(text.LastIndexOf(".") + 1)) /
180.0;
        double fi2 = Math.PI * double.Parse(text_.Substring(0, text_.IndexOf(".")) + "," +
text_.Substring(text_.IndexOf(".") + 1, text_.IndexOf(",") - text_.IndexOf(".") - 1)) / 180.0;
```

```
            double lam2 = Math.PI * double.Parse(text_.Substring(text_.IndexOf(",") + 1, text_.LastIndexOf(".") - text_.IndexOf(",") - 1) + "," + text_.Substring(text_.LastIndexOf(".") + 1)) / 180.0;

            double d = 2*6360000*Math.Asin(Math.Sqrt(Math.Pow(Math.Sin((fi2- fi1) /2),2)+Math.Cos(fi1)*Math.Cos(fi2)* Math.Pow(Math.Sin((lam2 - lam1) / 2), 2))); // Формула гаверсинуса
            distance =d.ToString();
            if (elevation.Contains(".") == true)
            {
              h1 = double.Parse(elevation.Substring(0, elevation.IndexOf(".")) + "," + elevation.Substring(elevation.IndexOf(".") + 1));
            }
            else
            {
              h1 = double.Parse(elevation);
            }
            if (elevation_.Contains(".") == true)
            {
              h2 = double.Parse(elevation_.Substring(0, elevation_.IndexOf(".")) + "," + elevation_.Substring(elevation_.IndexOf(".") + 1));
            }
            else
            {
              h2 = double.Parse(elevation_);
            }

            if (d != 0)
            {
              alfa = (Math.Asin((h2 - h1) / d))*180.0/ Math.PI;
            }

            _alfa = alfa.ToString();
            await writerf4.WriteLineAsync(_alfa);
            await writerf3.WriteLineAsync(distance);
            text = text_;
            elevation = elevation_;
            tbSettingText.Text = distance;
            goto NextTry3;
            Next3:
            tbSettingText.Text = "stop";
            stream2.Dispose();
            streame2.Dispose();
            stream3.Dispose();
            streame3.Dispose();
          }
          private void button_Click_2(object sender, RoutedEventArgs e)
          {

          }
        }
}
```

Додаток Ж
Комп’ютерна програма для синхронізації отриманих даних висоти відповідно до міток часу бортової системи OBD

```
real time, t0, h0, t1, h1, high
open (1,file='high.txt',status='unknown')
open (2,file='time.txt',status='unknown')
open (3,file='rez.txt',status='unknown')
read(2,*) time
read(1,*) t0, h0
11 read(1,*) t1, h1

10 if(time.le.t1)then
    high=h0+(time-t0)*(h1-h0)/(t1-t0)
    write(3,*) high
    read(2,*) time
    if(time.eq.10000000000)goto 12
    goto 10
    else
        t0=t1
        h0=h1
        goto 11
    endif
12 end
```

Додаток З
Акти впровадження

ЗАТВЕРДЖУЮ
Сафаров Ф. К.
генеральний директор Директорату цифрової інфраструктури на транспорті Мінінфраструктури

АКТ
впровадження матеріалів дисертаційного дослідження
Симоненка Романа Вікторовича
на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»

Матеріали дисертації Симоненка Р.В. на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів (КТЗ) на основі інтелектуальних телематичних технологій» прийняті до використання у Директораті цифрової інфраструктури на транспорті Міністерства інфраструктури України при формуванні комплексного плану оцінювання заходів, пов'язаних з інформаційним забезпеченням експлуатації КТЗ.

Найбільший науковий та практичний інтерес становлять:

- загальна методологія оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ з сучасними енергоустановками, в основі якої лежать функціональні, інформаційні та математичні моделі системи «КТЗ – Інфраструктура», 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;
- методи систематизації та визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура», який дозволяє аналізувати існуючі та формувати нові морфологічні структури системи, які розглядаються як способи підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ з удосконаленим телематичним забезпеченням основних функціональних елементів;
- методи побудови інформаційної моделі системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора та характеристик інфраструктурного середовища в системі «КТЗ – Інфраструктура», які дозволили сформувати інтелектуальні алгоритми управління технічним станом та режимами руху для досягнення заданих критеріїв ефективності експлуатації КТЗ;
- алгоритми оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура».

Запропоновані в дисертаційній роботі методи, моделі та алгоритми будуть використовуватись при реалізації інфраструктурних проєктів, що ведуться в рамках галузі автомобільного транспорту .

АСКО-ЕКСПЕДИЦІЯ, ТОВ
вул. Новопирогівська, 58,
м. Київ, 03045, Україна
тел./факс (+38044) 206-82-86
(+38044) 206-82-85
Сайт: www.asko-uac.com

UKAS QUALITY MANAGEMENT
005
Сертифікат
ISO 9001:2000
HU05/1145

Вих. №1068 від «30» 12 2020 р.

Довідка
про використання матеріалів дисертації
Симоненка Романа Вікторовича
на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»

Матеріали дисертаційного дослідження Р.В.Симоненка на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій» прийняті до використання у Компанії ТОВ"АСКО-ЕКСПЕДИЦІЯ" для удосконалення системи моніторингу експлуатаційної ефективності транспортних засобів під час вантажних перевезень.

Найбільший науковий та практичний інтерес становлять:

- інформаційна модель системи моніторингу експлуатаційної ефективності транспортних засобів з врахуванням їх технічного стану, режимів роботи водія та умов експлуатації виконанні вантажних перевезень;
- алгоритми оцінювання експлуатаційної ефективності транспортних засобів в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи «Колісні транспортні засоби – Інфраструктура»;
- кількісні значення окремих та інтегральних критеріїв оцінки експлуатаційної ефективності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища.

Наведені матеріали дисертації будуть використовуватись підвищення експлуатаційних показників транспортних засобів Компанії на маршрутах вантажних перевезень .

З повагою
Директор ТОВ «Аско-Експедиція» **Г.А. Резнік**

ТОВ «АТП ЕЛІТ»

Товариство з обмеженою відповідальністю «АТП ЕЛІТ»
адреса: 03151, місто Київ, вул. Народного Ополчення, буд. 26 А, тел. +38-044-501-68-66

вих. №22/09-20 від 22.09.2020 р.

ДОВІДКА
про використання матеріалів дисертації
Симоненка Романа Вікторовича
на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»

Матеріали дисертації Р.В. Симоненка на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій» прийняті до використання для удосконалення системи моніторингу експлуатаційної ефективності автомобілів-таксі ТОВ«АТП ЕЛІТ».

Зокрема, практичний інтерес для Компанії становлять:

- інформаційна модель системи моніторингу експлуатаційної ефективності транспортних засобів з врахуванням їх технічного стану, режимів роботи водія та умов експлуатації при виконанні пасажирських перевезень;

- алгоритми оцінювання експлуатаційної ефективності транспортних засобів в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення транспортних засобів та інфраструктурних умов;

-рекомендації щодо поліпшення показників безпеки, продуктивності, енергоефективності та екологічності автомобілів у визначених умовах інфраструктурного середовища.

Матеріали дисертації використовуються для поліпшення експлуатаційних показників транспортних засобів Компанії на таксомоторних маршрутах.

Директор
ТОВ «АТП Еліт» _____ **В.Е. Гума**

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВТОМОБІЛЬНА ТРАНСПОРТНА КОМПАНІЯ «БОСС»

ЄДРПОУ 43161629, 04112, місто Київ, вулиця Оранжерейна, будинок 3 літера П

вих. № 14/10-20 від 14.10.2020 р.

ДОВІДКА
про використання матеріалів дисертації
Симоненка Романа Вікторовича
на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»

Матеріали дисертації Р.В. Симоненка на тему: ***«Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»*** прийняті до використання ТОВ «АТК «БОСС», з метою вдосконалення системи моніторингу експлуатаційної ефективності автомобілів-таксі.

Зокрема, практичний інтерес для Компанії становлять:

- алгоритми оцінювання експлуатаційної ефективності транспортних засобів в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення транспортних засобів та інфраструктурних умов;

- інформаційна модель системи моніторингу експлуатаційної ефективності транспортних засобів з врахуванням їх технічного стану, режимів роботи водія та умов експлуатації при виконанні пасажирських перевезень;

- рекомендації щодо поліпшення показників безпеки, продуктивності, енергоефективності та екологічності автомобілів у визначених умовах інфраструктурного середовища.

Матеріали дисертації становлять практичну цінність та використовуються для поліпшення експлуатаційних показників транспортних засобів ТОВ «АТК «БОСС» на таксомоторних маршрутах.

Директор
ТОВ АТК «БОСС» **М.І. Казановський**

ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНИЙ КОМБІНАТ

"ЗАХІДУКРТРАНС"

82100, Україна, Львівська обл., м. Дрогобич, вул. П.Орлика 22, тел. /03244/ 39001, 39150, тел./факс 38543
e-mail:westukrtrans@westukrtrans.com
код ЄДРПОУ - 13825481, р/р 26005413173 в ПАТ «Райффайзен Банк Аваль», МФО 380805

Довідка
про використання матеріалів дисертаційного дослідження
Симоненка Романа Вікторовича
на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»

Матеріали дисертації Симоненка Р.В. на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів (КТЗ) на основі інтелектуальних телематичних технологій» прийняті до використання у Компанії ПрАТ ТЕК "Західукртранс" для удосконалення системи моніторингу експлуатаційної ефективності КТЗ під час міжнародних вантажних перевезень.

Найбільший науковий та практичний інтерес становлять:

- функціональна модель системи «КТЗ – Інфраструктура», яка дозволяє оцінити продуктивність, витрати енергії та викиди на одиницю пробігу чи транспортної роботи КТЗ на експлуатаційних маршрутах;
- інформаційна модель системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора та характеристик інфраструктури на маршрутах вантажних перевезень;
- алгоритми оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура».

Вищевказані методи, моделі та алгоритми будуть використовуватись при оцінюванні експлуатаційної ефективності транспортних засобів Компанії на маршрутах міжнародних вантажних перевезень.

Генеральний директор Павець Я.М.

Довідка

про використання матеріалів дисертаційного дослідження

Симоненка Романа Вікторовича

на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»

Матеріали дисертації Симоненка Р.В. на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів (КТЗ) на основі інтелектуальних телематичних технологій» прийняті до використання у ТОВ «Автобансервіс» для удосконалення системи моніторингу експлуатаційної ефективності КТЗ під час перевезення небезпечних вантажів.

Найбільший науковий та практичний інтерес становлять:

- інформаційна модель системи моніторингу експлуатаційної ефективності транспортних засобів з врахуванням їх технічного стану, режимів роботи водія та умов експлуатації при виконанні перевезень;
- алгоритми оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура».
- функціональна модель системи «КТЗ – Інфраструктура», яка дозволяє оцінити продуктивність, витрати енергії та викиди на одиницю пробігу чи транспортної роботи КТЗ на експлуатаційних маршрутах;
- рекомендації щодо поліпшення показників безпеки, продуктивності, енергоефективності та екологічності автомобілів у визначених умовах інфраструктурного середовища.
- Вищевказані рекомендації, методи, моделі та алгоритми будуть використовуватись при оцінюванні експлуатаційної ефективності транспортних засобів Компанії на маршрутах міжнародних вантажних перевезень .

Генеральний директор
ТОВ «Автобансервіс» _____ І.Є. Чернявский
12.02.2021 р.

egis

Вих. № 75-07.05 від 07.05.2021

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження Симоненка Романа Вікторовича на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»

Результати дисертаційного дослідження Симоненка Р.В. на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів (КТЗ) на основі інтелектуальних телематичних технологій» прийняті до використання інжиніринговою та консалтинговою компанією Egis при реалізації інфраструктурних та інституційних проектів технічної допомоги ЄС, бенефіціаром яких є Міністерство інфраструктури України.

Теоретичні й практичні аспекти досліджуваної проблеми пройшли апробацію шляхом впровадження розробок і рекомендацій при реалізації проекту технічної допомоги ЄС «Підтримка впровадження Угоди про асоціацію та Національної транспортної стратегії України», зокрема в розробці пропозицій до плану заходів з реалізації Національної транспортної стратегії України та проектів нормативно-правових актів у частині убезпечення експлуатації КТЗ, підвищення їх енергоефективності та екологічності.

При реалізації проекту технічної допомоги ЄС «Підтримка органів влади України в розробці Національної транспортної моделі та майстер-плану» застосовано запропоновані в дисертаційній роботі Симоненка Р.В. пропозиції та рекомендації щодо підвищення ефективності експлуатації КТЗ на основі інтелектуальних телематичних технологій, а також методи та моделі, які становлять значний науковий і практичний інтерес та є інноваційними за своєю сутністю. Результати дослідження застосовані в розробці Національної транспортної моделі (в частині автомобільного транспорту), що розробляється в Україні вперше, та Національного транспортного майстер-плану на період до 2030 року.

Особливий науковий і практичний інтерес становлять запропоновані в дисертаційній роботі:

- алгоритми оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ в залежності від рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура»;
- методологія оцінювання експлуатаційної ефективності КТЗ з сучасними енергоустановками, що базується на функціональних, інформаційних і математичних моделях системи «КТЗ – Інфраструктура», які дозволяють формувати

ТОВ «Ежіс Україна»
Адреса: вул. Антоновича, 29, Київ, 01033, Україна
Тел.: +380 44 359 00 95
Веб-сайт: www.egis-ukraina.com.ua; e-mail: egis-ukraina@egis.fr
Код ЄДРПОУ: 22916873; ІПН платника ПДВ: 229168726595

Caisse des Dépôts GROUPE

алгоритми управління технічним станом та режимами руху КТЗ для досягнення цільових показників безпеки, продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища;

- методи побудови інформаційної моделі системи моніторингу параметрів технічного стану КТЗ, режимів роботи оператора та характеристик інфраструктурного середовища в системі «КТЗ – Інфраструктура», які дозволяють сформувати інтелектуальні алгоритми управління технічним станом та режимами руху для досягнення заданих критеріїв ефективності експлуатації КТЗ;

- методи систематизації та визначення рівня розвитку телематичного забезпечення системи «КТЗ – Інфраструктура», що дозволяє аналізувати існуючі та форматувати нові морфологічні структури системи, які розглядаються як способи підвищення експлуатаційної ефективності КТЗ з удосконаленим телематичним забезпеченням основних функціональних елементів.

Апробація результатів дослідження підтверджує їх теоретичну і практичну спрямованість, доводить доцільність подальшого використання запропонованих у дисертаційній роботі Симоненка Р.В. методів, моделей та алгоритмів при реалізації інфраструктурних проектів у галузі автомобільного транспорту та підвищення показників безпеки, продуктивності, енергоефективності та екологічності КТЗ у визначених умовах інфраструктурного середовища, підвищення цифровізації на автомобільному транспорті на основі інтелектуальних телематичних технологій. Розроблені науково-теоретичні та практичні рекомендації Симоненка Р.В. дозволять удосконалити процес прийняття рішень в системі стратегічного планування в галузі автомобільного транспорту, сприятимуть подальшому її розвитку та модернізації відповідно до Національної транспортної стратегії України.

Директор ТОВ «Ежіс Україна» Е.В. Ковтун

ЕЖІС УКРАЇНА
ЄДРПОУ 22916873

ТОВ «Ежіс Україна»
Адреса: вул. Антоновича, 29, Київ, 01033, Україна
Тел.: +380 44 359 00 95
Веб-сайт: www.egis-ukraina.com.ua; e-mail: egis-ukraina@egis.fr
Код ЄДРПОУ: 22916873; ІПН платника ПДВ: 229168726595

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор
з навчальної роботи
Національного транспортного університету

_____ проф. Грищук О.К.

«24» березня 2021 р.

А К Т

про впровадження в навчальний процес матеріалів
докторської дисертаційної роботи

«Підвищення ефективності експлуатації колісних транспортних засобів на основі інтелектуальних телематичних технологій»

доцента кафедри екології та безпеки життєдіяльності (за сумісництвом)

Симоненка Романа Вікторовича

У навчальному процесі кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету використовуються науково-методичні матеріали і прикладні результати, що містяться в докторській дисертації доцента кафедри екології та безпеки життєдіяльності Симоненка Романа Вікторовича.

При проведенні навчального процесу на автомеханічному факультеті з дисциплін «Екологія життєвого циклу транспортних засобів», «Техноекологія» та «Управління проектами в автотранспортній галузі», технологічної практики студентів, керівництві магістерськими та бакалаврськими кваліфікаційними роботами студентів, що навчаються за спеціальностями 183 «Технології захисту навколишнього середовища» та 274 «Автомобільний транспорт», розглядаються теоретичні та прикладні аспекти процесу експлуатації колісних транспортних засобів та їх удосконалення.

Включення матеріалів і результатів докторської дисертаційної роботи Симоненка Р.В., які мають вагому наукову новизну і практичну цінність, у навчальний процес автомеханічного факультету Національного транспортного університету сприяє його поліпшенню і подальшому удосконаленню.

Декан автомеханічного факультету
д.т.н., професор В.П. Матейчик

Завідувач кафедри екології та
безпеки життєдіяльності
д.т.н., професор В.О. Хрутьба